

TFE

Année 2010-2011



Etudier les différents réseaux de distribution des fluides du site afin de les adapter à la nouvelle configuration de la tôlerie et d'en optimiser les coûts.

Société : Aperam

Dates de stage : 16/05/2011-07/10/2011
Lieu du stage : ISBERGUES - FRANCE
Tuteur entreprise : PELLETIER Jean Marie
Tuteur –PCP ECL : PERKINS Richard
Élève : SOLER HERNANDEZ Rafael

1.- Résumé : (français)	4
(anglais)	5
2.- A propos d'Aperam :	6
2.1.- Santé-Sécurité	6
2.2.- Développement durable	7
2.3.- Volume production	9
2.4.- Satisfaction clients	9
2.5.- Investissements	10
3.- Activité de l'entreprise	10
3.1.- Fabrication industrielle	11
3.2.- Présentation de l'activité du site	11
3.3.- Marché et différents produits	12
4.- Présentation du service UMC	12
4.1.- Air comprimé	13
4.2.- Eau décarbonatée	14
4.3.- Eau adoucie	15
4.4.- Eau clarifloculée	16
4.5.- Eau surchauffée	17
5.- Etude économique des réseaux	18
6.- Réseau d'eau surchauffée	19
6.1.- L'installation	20
6.2.- Le cycle de l'eau	20
6.3.- Plan du réseau	25
6.4.- Modifications proposées	25
7.- Etude technique	27
7.1.- Propriétés de l'eau	27
7.2.- Formules à utiliser	27
7.3.- Puissances installées sur le site	28
7.4.- Méthode de travail	31
8.- Conclusions étude technique	37
9.- Etude technique et économique	37
9.1.- Pertes de charge	38
9.2.- Pertes de chaleur	39
9.3.- Coût des modifications proposées	43
10.- Conclusions étude technique et économique	45

11.- Annexes :	46
Annexe 1 : Interconnexion des réseaux	46
Annexe 2 : Propriétés de l'eau	46
Annexe 3 : Perte chaleur dans les tuyauteries nues et calorifugées	47
Annexe 4 : Utilisation des courbes caractéristiques du groupe de pompage	47
Annexe 5 :	48
Pompes de circulation	48
Pompes de secours	48
Bâche alimentaire	49
Armoires de pilotage automatique	49
Ballon d'azote sous pression	50
Chaudières	50
Echangeur de chaleur vertical	51
Fonctionnement vase d'expansion (ballon d'azote)	52
Annexe 6 : Calorifuge	53
Annexe 7 : Résultats obtenus	54
12.- Bibliographie	60

1.- Résumé :

Le stage a eu lieu au nord de la France pendant la période du 16 mai 2011 jusqu'au 6 octobre 2011 chez Aperam qui est un acteur mondial du secteur de l'acier inoxydable. Son réseau industriel est concentré dans six usines principales situées au Brésil, en Belgique et en France.

Sur le site d'Aperam à Isbergues, on produit de l'acier inoxydable pour divers marchés (automobile, équipement de maison, industrie et bâtiment). J'ai donc été affecté au service fluides qui a pour objectif d'entretenir et de maintenir les différents réseaux qui alimentent toute l'usine pour la production de l'acier. Ces énergies consommées sont : l'eau surchauffée, l'eau adoucie, l'eau tamisée, l'eau clarifloculée, l'eau de forage, l'eau décarbonatée, l'air comprimé, l'oxygène, l'azote et le gaz naturel.

Il n'y a pas longtemps le site a subi une baisse de production et par conséquent a engendré une baisse de l'énergie. Il faut alors s'adapter à la nouvelle demande en dimensionnant et modifiant des appareils, machines, et l'architecture des réseaux afin de réaliser des économies d'énergie sur le site.

Dans l'étude on analysera les différentes étapes établies pour arriver à chaque solution. D'abord une étude de toutes les consommations et frais de chaque énergie sera nécessaire pour trouver celle la plus impactant économiquement. Ensuite, des propositions techniques à modifier seront exposées et analysées. On réalisera une étude technique pour savoir la faisabilité des modifications proposées afin de savoir si elle respecte les règles de sûreté en essayant d'identifier et chiffrer les économies (étude technique et économique). Finalement on terminera par évaluer la rentabilité économique pour prendre des futures décisions.

Concrètement on étudiera des modifications sur l'architecture du circuit d'eau surchauffée.

Pour trouver des résultats, Aperam a mis à ma disposition différentes moyennes et sources telles que livres de mécanique des fluides, internet, questions aux techniciens d'Aperam et des visites sur chantier.

Dans mon introduction il y a une petite présentation de l'entreprise sur ses activités dans le marché de l'acier inoxydable et des graphiques dont on peut remarquer l'engagement d'Aperam à exercer ses activités de façon responsable dans le respect de la santé, de la sécurité, et du bien être de ses employés engagés sur la voie d'une gestion durable de l'environnement et des ressources. Aussi, il y a des schémas de quelques réseaux afin d'analyser complexité du site : les interconnexions entre eux, les systèmes de sécurité et de secours.

Plusieurs projets sont proposés actuellement sur le site pour réaliser des économies dont celui de l'eau surchauffée est expliqué dans ce rapport. Il faudra donc étudier tous les axes d'amélioration et essayer d'établir des économies dans les années à venir.

Summary:

The student work experience took place on the North of France, from the 16th of May till the 6th of October, in the APERAM company, which is a global stainless steel producer. Its industrial network is distributed in three different countries: Brazil, Belgium and France. In APERAMs plant in Isbergues, stainless steel is produced to satisfy a wide variety of markets (automobile industry, home applications, industrial environments and the construction Market). My working place has been the Fluids department, which is responsible for the monitoring and maintenance of the various energy grids that supply to the whole industrial complex, for the production of steel. These energy grids consist of the following elements: overheated water (or pressurised water), water softening, water filtering , flocculated water, ground water or well water, decarbonised water, compressed air, oxygen, nitrogen and natural gas.

Recently the plant has suffered a reduction in the production and thus a decrease in the energy consumption. Therefore an adaption to the new demand is needed, cutting back the machines, instruments and architecture of the various energy grids in order to save energy costs.

In the research, various stages are analysed in order to reach each solution. Firstly, a study of all the consumptions and costs is required to find the most suitable economically speaking. Once that is finished, the required technical modifications will be presented. A technical study will be made in order to analyse the viability of the modifications presented; to see if we are still within the security limits and at the same time identify and calculate from where the economic savings are obtained and how much they amount to (Technical-economic study). Finally, the economic profitability will be evaluated to take future decisions.

More specifically, modifications in the overheated water (or pressurised) circuit will be studied.

In order to reach a solution, APERAM handed me various media and resources, such as Fluid Mechanics bibliography, Internet, access to APERAMs personnel and know how, and visits to the main plant.

In the introduction there is a brief presentation of the company, about its activities in the stainless steel market, and charts where we can see APERAMs commitment to develop all its activities in a responsible manner towards health, security and welfare of its workers; who at the same time are committed to work in a sustainable way with the environment and earths resources. There are also charts of some of the energy grids in order to exemplify the complexity of the industrial complex, the interconnection between them and the security and emergency systems.

Up to the moment, there have been various already some projects proposed, in order to obtain energy savings in the company plant, where the overheated water system is tackled in this research. It is needed, therefore, a study of all the possible paths of improvement, in order to save costs in the years to come.

2.- A propos d'Aperam :

Aperam a dévoilé sa marque et son identité le 25 janvier 2011. Le déploiement de la marque permet à la société d'être identifiée et de s'imposer comme un producteur indépendant. Le nom Aperam est composé des éléments « **Aper** », pour « Aperture », qui évoque l'ouverture aux clients et l'ouverture au changement de la nouvelle société, et « **am** », en référence à ArcelorMittal dont elle est issue.

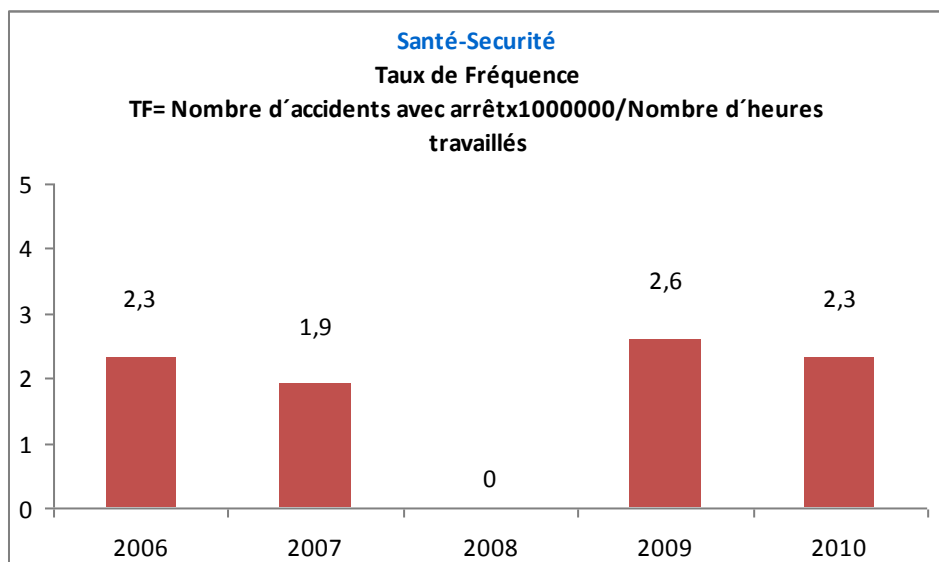
Aperam est un acteur mondial du secteur de l'acier inoxydable, de l'acier électrique et des aciers spéciaux qui exerce des activités dans plus de 30 pays. La Société est structurée en trois secteurs : Acier inoxydable & Acier électrique, Service & Solutions et Alliages et Aciers spéciaux. Aperam qui a des capacités de production de 2,5 millions de tonnes d'Acier inoxydable plat en Europe et au Brésil, est un leader dans des créneaux à forte valeur ajoutée – les Alliages et les Aciers spéciaux.

Aperam possède par ailleurs un réseau de distribution, de traitement et de services hautement intégré ainsi que des capacités inégalées pour produire de l'acier inoxydable et des aciers spéciaux à partir de biomasse à faible coût (le charbon). Son réseau industriel est concentré dans six usines principales situées au Brésil, en Belgique et en France. Aperam emploie 9900 personnes.

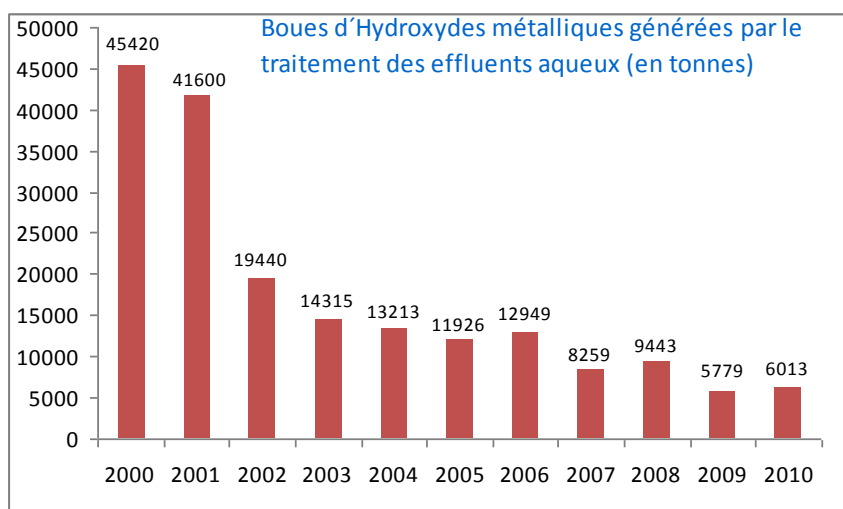
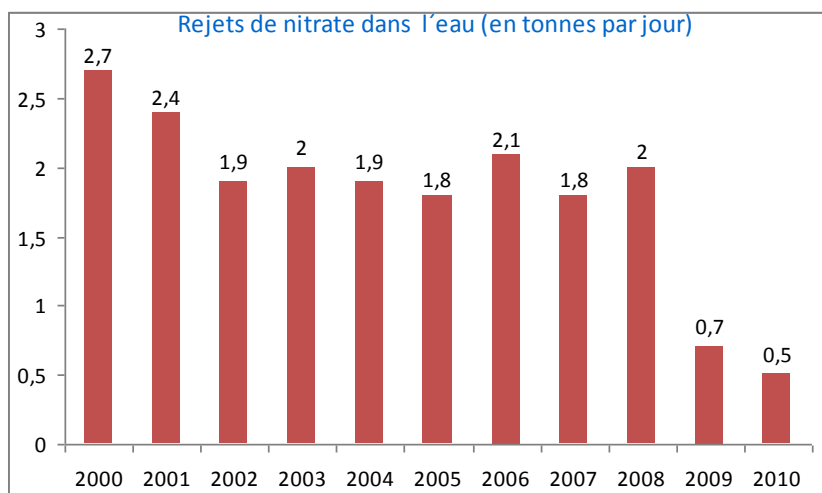
Aperam s'engage à exercer ses activités de façon responsable dans le respect de la Santé, de la Sécurité et du Bien-être de ses employés, de ses sous-traitants et des communautés dans lesquelles la Société est présente. La Société est également engagée sur la voie d'une gestion durable de l'environnement et des ressources.

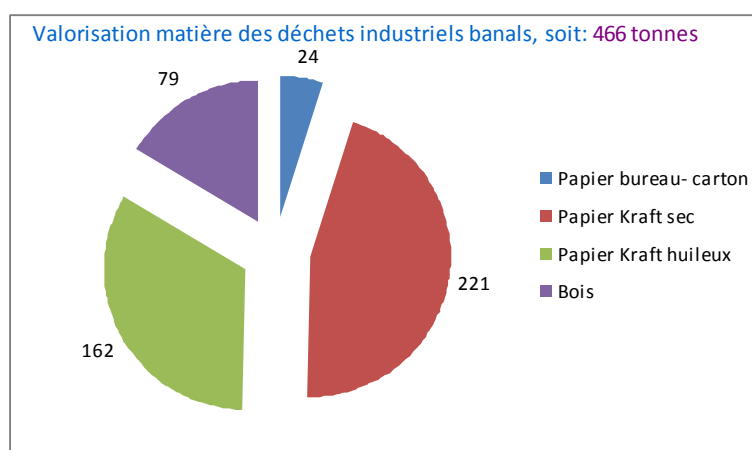
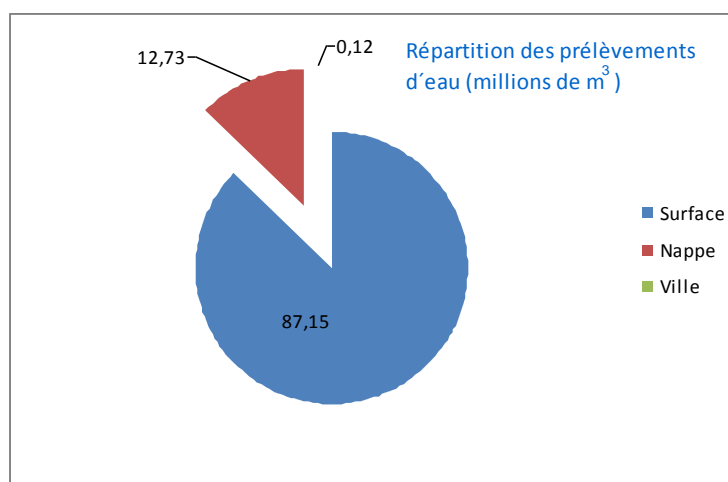
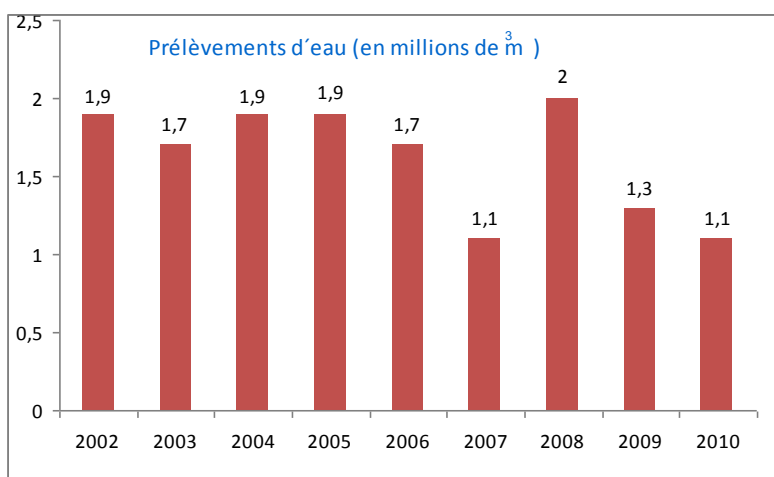
Voici quelques chiffres qui décrivent en peu la Société :

2.1.- Santé – Sécurité

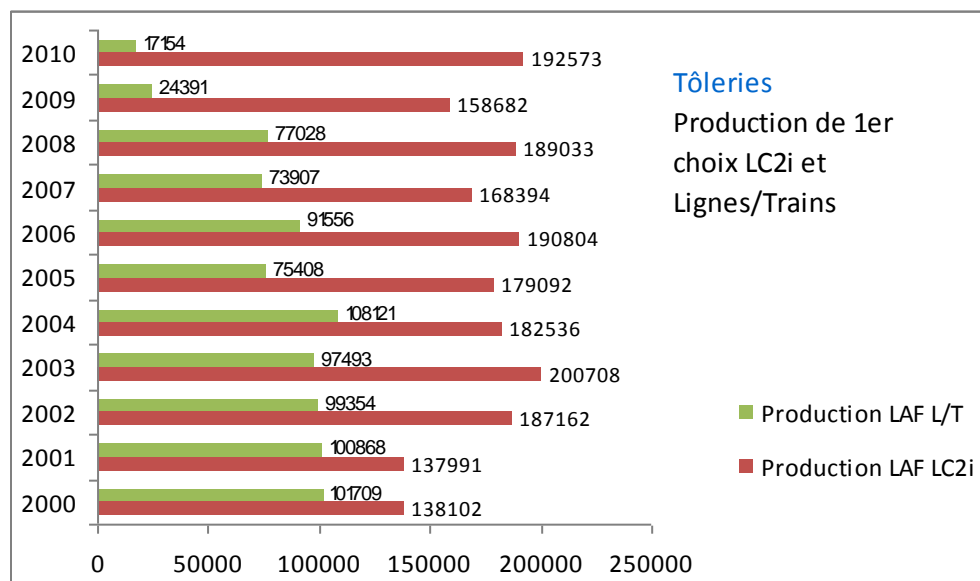


2.2.- Développement durable :

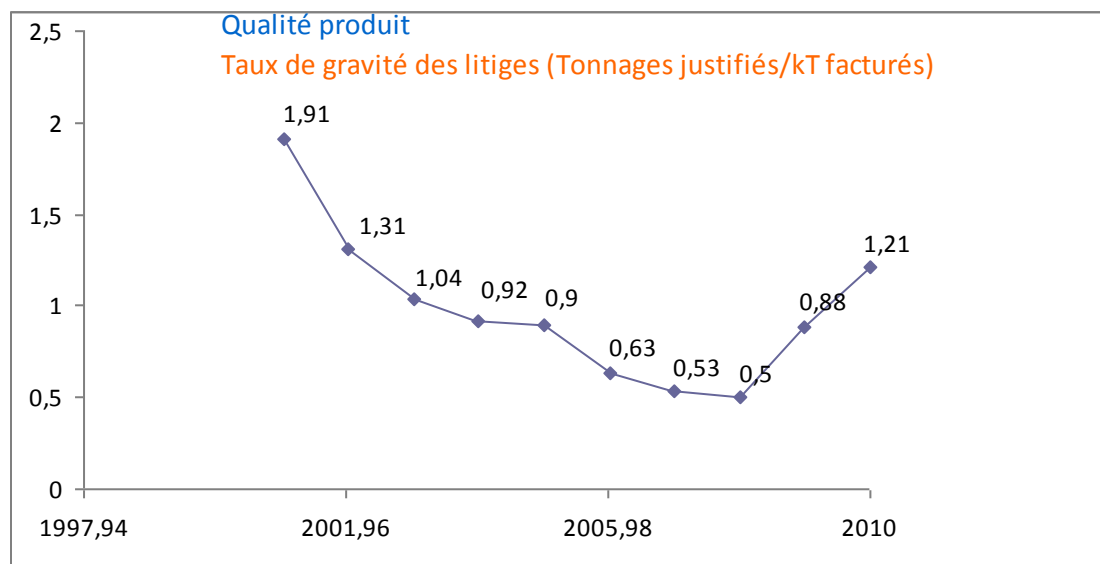




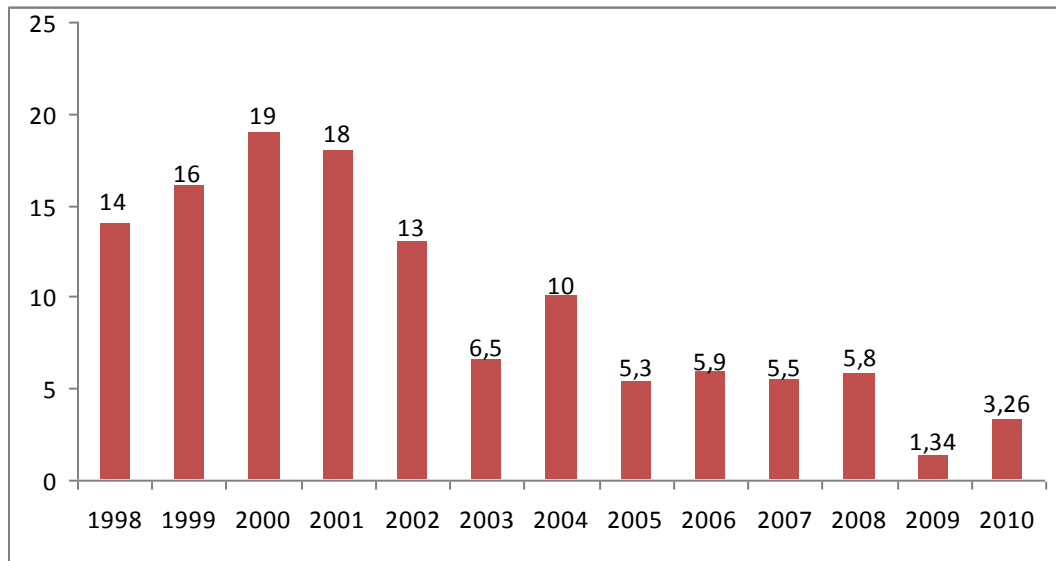
2.3.- Volume production :



2.4.- Satisfaction clients :



2.5.- Investissements



3.- Activité de l'entreprise :

Différent types d'aciers inoxydables :

Aciers au chrome : contenant de 12% à 27% de Cr. Ils possèdent l'une ou l'autre des structures suivantes :

-Martensitique : avec 12% à 18% de Cr. Cette structure correspond à une sursaturation en carbone dans Fe_a obtenue par trempe à partir de l'austénite(Fe_g). Ils ont une bonne résistance à la corrosion et à des caractéristiques mécaniques élevées. Ils sont utilisés pour les instruments chirurgicaux, en coutellerie, etc.

-Féritique (Fe_a) : avec une teneur élevée en Cr ou la présence d'éléments alphagènes (Zr, Ti, Nb) qui ne permettent pas la transformation, à chaud, en austénite et donc ne donnent pas de trempe martensitique. Les plus utilisés, en architecture, dans les ustensiles de cuisine, contiennent 17% de Cr. Ils sont plus économiques que les aciers Cr-Ni de type 18-10 car le nickel compte pour plus de 40% dans le coût de production des aciers inoxydables. Ils contiennent aussi du molybdène dont les cours sont élevés.

Aciers au chrome-nickel : la nuance de base contient 18% de Cr et 10% de Ni (nuance 18-10). Ils contiennent peu de carbone : de 0,02 à 0,15%. Les éléments le plus souvent ajoutés sont Mo et Mn. Ils ont une structure :

-Austénitique : la structure Fe_g est conservée à la température ambiante. Ils ne prennent pas la trempe et sont amagnétiques. Ils ont une grande résistance à la corrosion à une bonne aptitude à la déformation pour faciliter en suite la mise en forme. Ce sont les aciers inoxydables les plus utilisés, dans les industries chimiques, alimentaires, les couverts de table de qualité (car les couverts courants sont en acier inoxydable ferritique). Ils représentent le 60% de la production d'aciers inoxydables en 2007.

Les aciers austéno-férritiques sont biphasés, 50% a, 50% g pour la nuance la plus répandue. Ils contiennent de 22 à 25% de Cr et de 4 à 7% de Ni. Ils sont surtout utilisés pour élaborer des aciers moulés.

3.1.- Fabrication industrielle :

La difficulté est d'atteindre une décarburation importante tout en évitant des pertes élevées de chrome par oxydation. Les équilibres d'oxydation de Cr et C sont déplacés dans le sens d'une oxydation préférentielle de C, en faisant le vide (procédé V.O.D : Vacuum Oxygen Decarburization) ou plus couramment, en diluant le CO formé par un gaz neutre (argon ou diazote dans le procédé A.O.D : Argon-Oxygène-Décarburation.). Le procédé A.O.D est utilisé par 70% des capacités mondiales de production.

Un mélange de ferrailles, de chutes d'acier inoxydable recyclées, de ferrochrome, de ferronickel et de divers éléments d'alliage est fondu vers 1700°C dans un four à arc électrique, la teneur en C est de 1,5 à 2,5%, puis coulé dans un convertisseur dans lequel est injecté du dioxygène dilué par l'argon. Le rapport initial oxygène-argon est de 3 parts de dioxygène pour 1 part d'argon. Au cours de la décarburation, la proportion d'oxygène diminue fortement. La réaction de décarburation est fortement exothermique et l'ajout de ferrailles froides permet de maintenir la température vers 1700°C. Après la décarburation, l'ajout de ferrosilicium permet de réduire l'oxyde de chrome formé. Les fours utilisés peuvent contenir 160T. La fusion dure environ 1h 30 et la décarburation de 1h à 1h 30.

Recyclage : On estime que le 60% de la production provient d'acier recyclé (25% d'aciers en fin de vie et 35% de chutes neuves de production).

3.2.- Présentation de l'activité du site :

Aperam Isbergues a deux usines : l'aciérie et la tôlerie.

L'aciérie : avant le transfert de cette phase en Belgique, l'aciérie réalisait une production de brames à partir de ferraille récupérée et fondue dans les fours électriques. Aujourd'hui, l'aciérie fait la transformation des poussières issues des aciéries Belge en boulets qui devront ensuite être refondues pour la fabrication des barres.

La tôlerie : Elle reçoit des bobines qui proviennent d'autres sites de production afin des les transformer par laminage à froid. A la suite du laminage il y a les finitions ou parachèvement, qui consiste à adapter les produits laminés aux impératifs des clients (dimensions, aspects de surface, caractéristiques métallurgiques du métal...) en assurant une transformation finale avec des outils spécifiques. Ces étapes sont réalisées sur les outils spécifiques Inox2, Inox3 et LC2I.

LC2I signifie Ligne Continue Intégrée Inox, elle a été créée afin d'augmenter les capacités du site en diminuant les coûts de production tout en produisant plus rapidement et en respectant qualité et contraintes environnementales. Elle a pour but d'effectuer différents traitements (surfaçage, laminage, traitements thermiques et chimiques) sur les bobines d'acier inoxydable avant la livraison aux clients mais, contrairement aux lignes de traitement classiques (« Ligne Train ») où tous les processus sont faits séparément, la LC2I fait tous les actions les unes à la suite des autres, c'est-à-dire, en continu. Ainsi, sur la LC2I, le traitement d'une bobine peut prendre de 20 à 40 minutes contre 3 semaines sur les lignes classiques INOX2 et INOX3. La LC2I permet donc d'éviter les ruptures de procès et d'assurer une qualité parfaitement reproductible sur les produits (réduire les risques d'endommagement et supprimer le stockage entre chaque traitement).

Fonctionnement de la LC2I

La LC2I a trois principales parties : préparation, laminage et traitements thermiques et finitions.

Préparation de surface : Tout d'abord, une bobine brute est placée dans la dérouleuse qui met en contact la bande avec la précédente. On fait le soudage entre les 2 bandes grâce à une soudeuse MIG. Après la bande passe dans une brise oxyde et dans une grenailleuse qui projette des petites billes d'acier pour enlever la calamine (composée d'oxyde de zinc et d'oxyde de fer).

Ensuite la bande passe au décapage chimique (bains d'acides) pour lui donner un bel état de surface et enlever les restes éventuels de calamine.

Le laminage : La bande traverse le laminoir pour affiner son épaisseur grâce à des cylindres qui écrasait la bande d'acier. On vient ensuite nettoyer la bande grâce à des bains de dégraissage et de rinçage. On découpe ensuite l'effort de traction de la bande dans un bloc en « S ».

Les traitements thermiques et finitions : La bande est chauffée à environ 1200°C dans un four de recuit pour obtenir les caractéristiques souhaitées pour le produit fabriqué. Ensuite la bande est refroidie, puis on lui fait un décapage électrolytique et chimique. Finalement, la bande passe au Skin Pass et par la planeuse pour lui donner son aspect plat et brillant.

3.3- Marché et différents produits :

La gamme des aciers inoxydables répond à tous les besoins des industriels à la recherche de matériaux qui sont résistantes à la corrosion, esthétiques et faciles à entretenir.

On apporte des solutions inox adaptées aux besoins des clients. On a une large gamme de nuances, un service de qualité et un soutien technique personnalisé.

On est présent sur les grandes marchés suivantes :

Equipement de maison : Electroménager, éviers, ustensiles de cuisson, coutellerie, collectivités, équipements thermiques, ascenseurs et escalators.

Industrie : Industrie alimentaire (cuves, citernes, futs,...), industrie de procès, stockage et Silos, équipement mécanique, tôlerie, énergie, transport (ferroviaires, routiers,...).

Bâtiment : Couvertures et façades de bâtiment-charpentes et structures.

Automobile : tuyaux d'échappement, structure et décoration automobile.

4.- Présentation du service UMC :

Le stage a eu lieu au sein de la section UMC Fluides qui fait partie aussi du Département METN (Maintenance Etudes et Travaux Neufs). Les fonctions du service UMC sont la production, la distribution et l'entretien des circuits suivants :

- L'air comprimé et l'air sec
- Le gaz naturel dans toute l'usine
- L'eau surchauffée

- L'eau décarbonatée
- L'eau adoucie
- L'eau tamisée
- L'eau clarifloculée
- L'eau du canal filtrée
- L'eau de forage
- L'azote

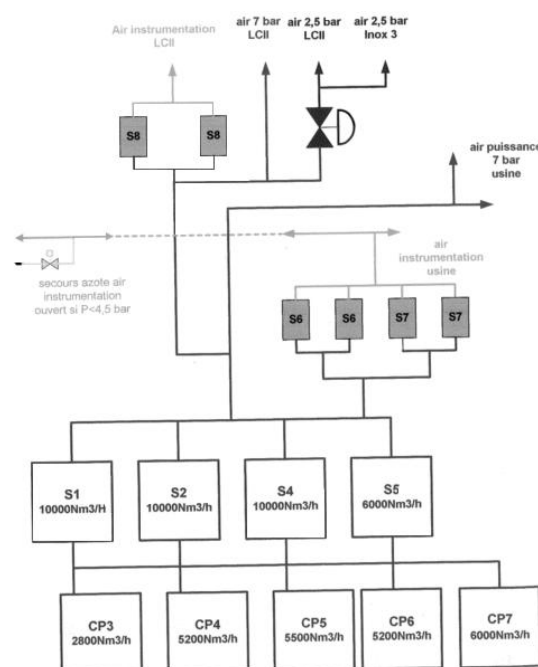
Les différentes missions de la section UMC Fluides sont par ailleurs :

- Produire et distribuer les fluides en quantité et qualité suffisantes pour tous les différents utilisateurs du site
- Le traitement des eaux destinées aux procès
- La maintenance des réseaux fluides
- L'analyse et validation des besoins des clients
- La gestion des canalisations et réservoirs réglementés
- Le suivi des contrats de fourniture et de prestation ; réaliser les manœuvres des réseaux, les opérations de mise en sécurité et les consignations des réseaux fluides
- Organiser la TPM réseaux fluides

Déroulement du stage :

Lors des deux premières semaines on a visité l'ensemble de l'usine avec les techniciens pour se familiariser, connaître et comprendre les différentes activités du département de fluides. On a vu les différents réseaux des fluides qui servent pour la production de l'acier. Ces réseaux sont interconnectés entre eux et chacun a des systèmes de sûreté et de secours en cas de panne. On va décrire sommairement quelques réseaux.

4.1.- Production d'air comprimé : Synoptique de distribution



On dispose de cinq compresseurs pour une capacité totale de 24400Nm³/h et deux techniques de compression sont utilisées :

- Compresseurs à vis non lubrifiés. Ce type de compresseur fonction en « tout ou rien » entre deux seuils de pression et alterne les marches à vide et en charge.

- Compresseurs centrifuges. Ce type de compresseur a la particularité de pouvoir moduler son débit sur un plage pouvant varier de 15 à 50% suivant le type de machine, et ceci grâce à une vanne modulante placée à l'aspiration et asservie à la pression de sortie de la machine. Une deuxième vanne placée au refoulement de la machine permet d'échapper l'air excédentaire lorsque la limite technique de la vanne d'aspiration est atteinte et d'éviter le point de pompage de la machine.

On dispose aussi des sècheurs :

- Sècheurs par réfrigération : cette technique permet de condenser l'humidité contenue dans l'air et d'abaisser le point de rosée de l'air vers 2 à 4°C. Cet air comprimé sert à l'air moteur (vérins...) et procès (zone de trempe, refroidissement ...).

- Sècheurs par absorption : cette technique permet grâce à un dessicant d'absorber l'humidité de l'air. Ces sècheurs fonctionnent en duplex, c'est-à-dire qu'un appareil est en production et l'autre est en attente (ou en cours de régénération). La régénération s'effectue par ventilation à l'air chaud afin d'éliminer l'eau contenue dans le dessicant. Les sècheurs par absorption sont placés en aval de la production des sècheurs par réfrigération ; ils séchent de l'air déjà débarrassé d'une bonne partie de l'humidité qu'il contient et de limiter les régénérations.

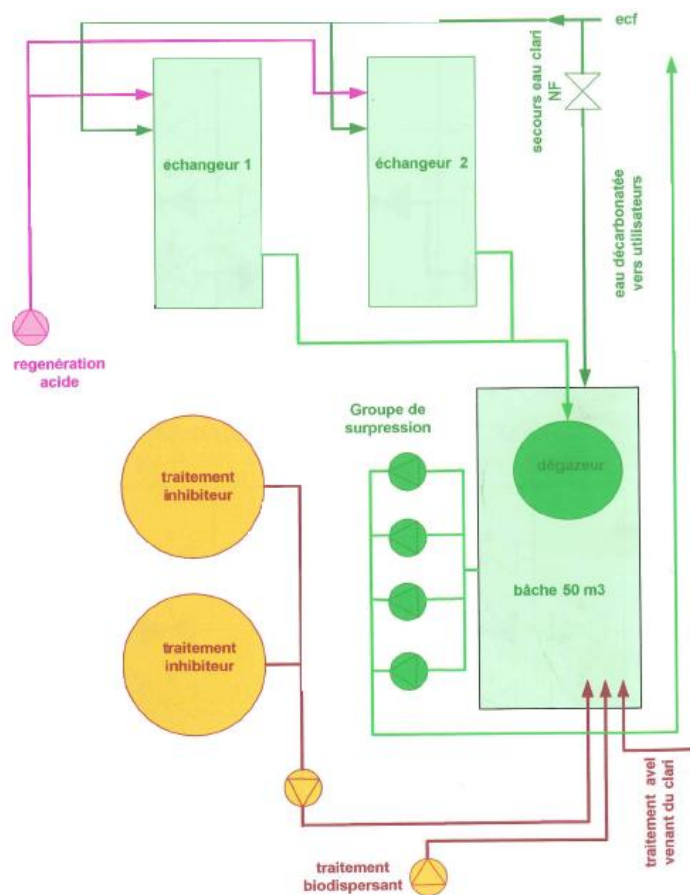
L'air instrumentation produit par cette unité est secouru par de l'azote en cas de problème, ce secours est automatique et asservi à la pression de réseau.

4.2.- Production d'eau décarbonatée :

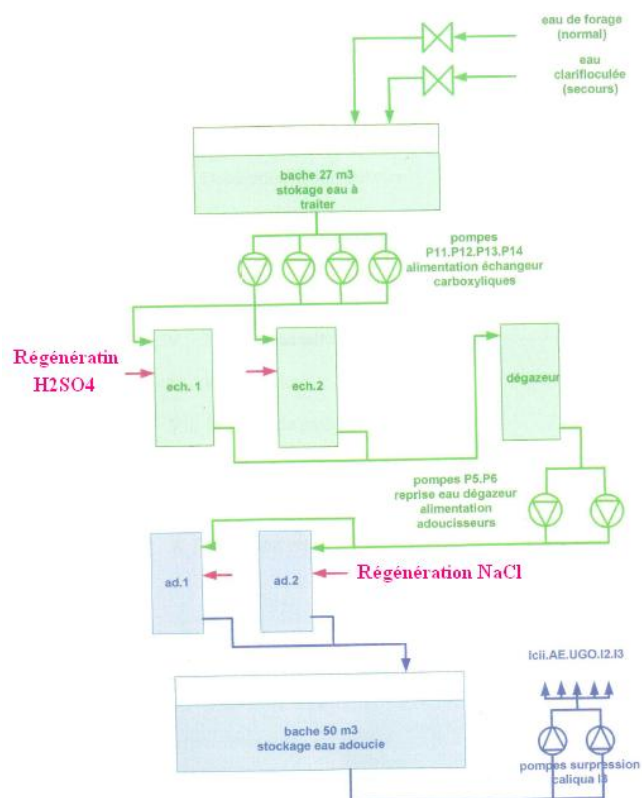
Elle est produite à partir d'eau industrielle filtrée provenant soit du canal (marche normal) soit du château d'eau clarifloculée (marche secours). L'installation produit en moyenne 90m³/h d'eau décarbonatée et la capacité de production est d'environ 150m³/h. Cette eau est utilisée pour alimenter les circuits de refroidissement des outils, elle a aussi une application pour l'alimentation de certains bac de lavage et de rinçage nécessitant l'absence d'éléments incrustants.

Principe de fonctionnement : le traitement consiste à faire passer de l'eau brute dans un échangeur contenant des résines carboxyliques, on obtient ainsi une fixation des cations liés aux bicarbonates de l'eau. Il faut donc éliminer ces bicarbonates et limiter ainsi les risques d'entartrage. A la sortie de l'échangeur l'eau traitée contient encore du gaz carbonique qu'il faut éliminer par passage dans un dégazeur. L'eau est ensuite stockée dans une citerne de 50m³ d'où elle sera reprise par un groupe de surpression pour être distribuée vers les utilisateurs. Un compteur-décompteur permet de programmer la longueur du cycle de production, lorsque le cycle est fini l'échangeur en service se met en attente de régénération et l'autre se met en production. Après un traitement (injection des produits), l'eau est asservi à la production (démarrage et arrêt des échangeurs) il vise à protéger les installations contre les risques de corrosion et d'entartrage et également à prévenir les risques de développement bactérien et notamment ceux concernant la légionellose.

Synoptique de distribution :



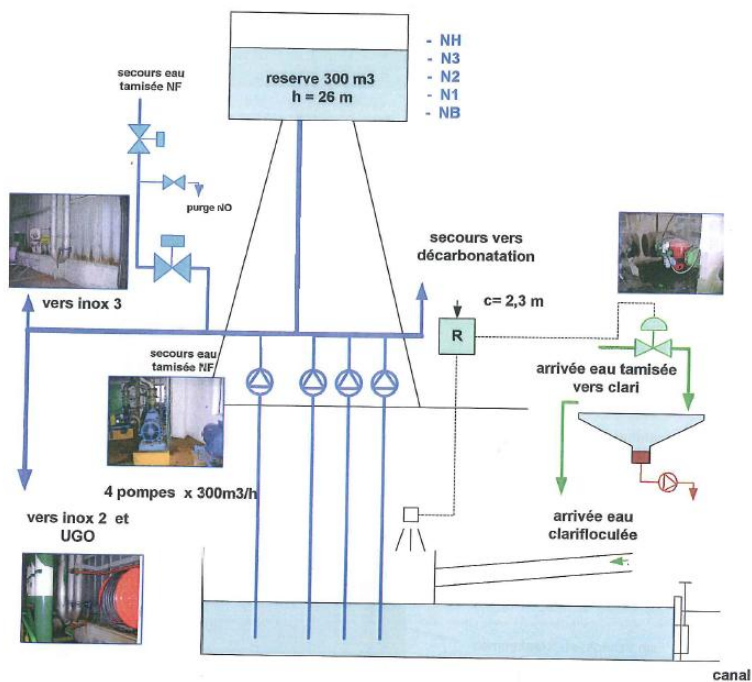
4.3.- Production d'eau adoucie



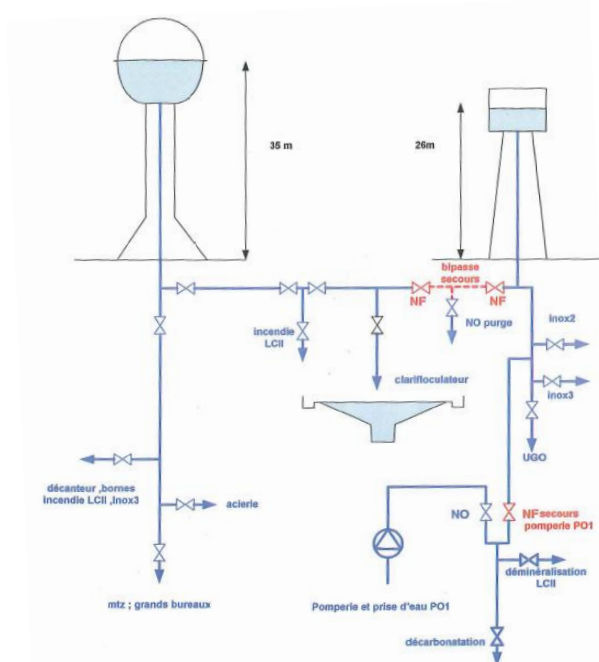
4.4.- Production eau clarifloculée :

Le clarifloculateur est alimenté en eau tamisée provenant du château d'eau SOCEA. A son arrivée, elle va y subir plusieurs traitements destinés à favoriser la décantation et à combattre l'activité bactérienne. L'eau est ensuite dirigée vers le centre du clarifloculateur où commence la décantation proprement dite. Un système de raclage permet de rassembler les boues vers le centre du clarifloculateur, une pompe à air comprimé permet de les diriger vers le décanteur de l'aciérie.

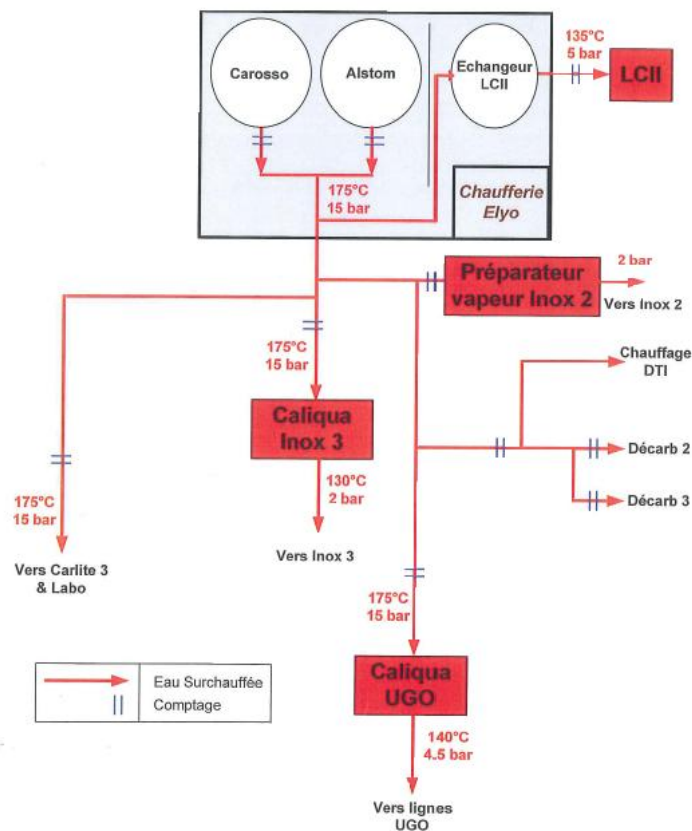
Château d'eau clarifloculée :



Eau industrielle (tamisée et clarifloculée)



4.5.- Production d'eau surchauffée :



Elle sert principalement pour chauffer d'autres produits (eau, etc....) qui serviront en suite pour les différents procédés de la production de l'acier.

L'importance des graphiques précédentes c'est de remarquer que les installations sont fournies par différentes sources en cas de panne et fournies aussi par plusieurs groupes fournisseurs [voir annexe 1]. Par exemple, s'il y a une panne au circuit d'eau clarifloculée, on peut le secourir depuis le château d'eau tamisée ou encore d'eau du canal. Donc il faut que les différents réseaux soient interconnectés entre eux. En plus, normalement, à chaque station de pompage on a plusieurs pompes : par exemple, on peut avoir 2 pompes de secours et faire tourner 3 pompes et encore les faire tourner avec des délais différentes afin d'allonger leur durée de vie. De même avec les compresseurs sécheurs, etc.

5.- Etude des réseaux :

Avant de lancer l'étude on a récupéré les données de consommation, coût de production et coût d'entretien pour chaque fluide. Les données de consommations sont fournies par des différents compteurs installés le long de chaque circuit, particulièrement à l'entrée de chaque point de consommation. Ils mesurent débit ou énergie consommé selon le type de compteur et peuvent mesurer en différentes unités de volume ou énergie (m³, Nm³, KW, KWth, etc....). Ces données sont envoyées au département de fluides et ensuite enregistrées. Par rapport aux coûts de production, c'est une partie plus difficile du au fait des interconnexions entre les différents réseaux et les différents machines qu'interviennent lors du process. En plus on a des frais d'entretien obligatoires chaque année qui ajoutent une partie fixe et frais du au pannes qui sont arrivées au cours de l'année. Donc, il est difficile de séparer la partie fixe et variable des coûts de production, mais de toute façon on a un ratio entre ce qu'on paye et ce qu'on consomme pour chaque fluide. Avec ça, on peut estimer un coût de production approximatif de chaque fluide.

Le but de les avoir, c'est de savoir quel est le fluide le plus impactant par rapport aux coûts dans l'usine et pouvoir centrer l'étude sur ce fluide. Voici les données liées aux coûts d'entretien :

Entretien :

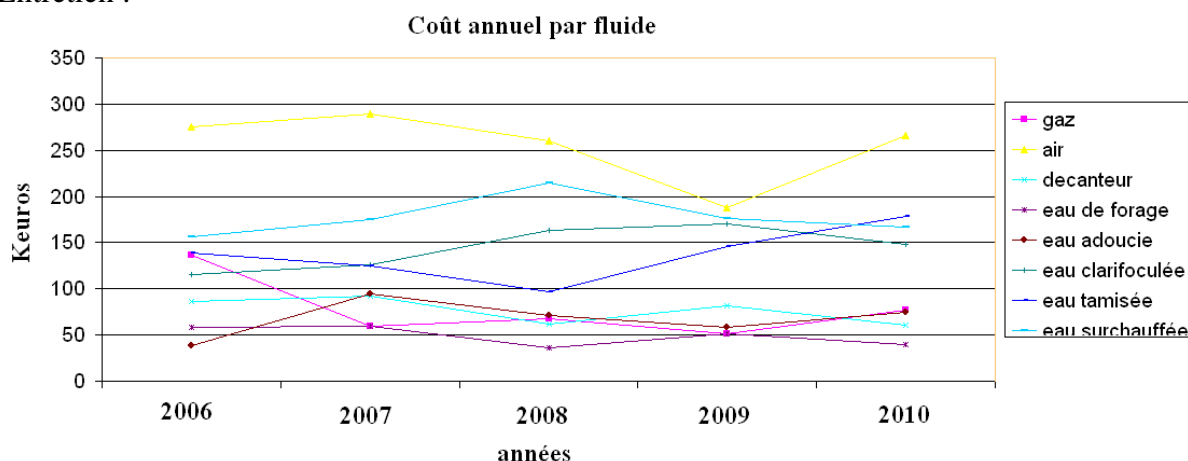


Tableau résumé des coûts : (partie fixe + variable)/consommation :

		2008	2009	2010	2011 à fin avril
UO		€/UO	€/UO	€/UO	€/UO
en mwh	GAZ NATUREL	27,7943333	23,5320612	26,85325123	30,03883088
en mwh	ELECTRICITE	37,0224548	58,18861568	51,34645558	55,90446693
en mwh	AIR COMPRIME	33,2502295	57,15970136	54,56746764	60,10502736
en 1000th	EAU SURCHAUFFEE	44,3020775	38,03209086	42,561589	47,48205735
en 1000 M3	AZOTE	172,48343	299,9715188	220,5922138	245,6394284
en 1000 M3	EAU CLARIFLOCULEE	24,3615179	49,94489987	65,2614896	69,56576006
en 1000 M3	EAU DECARBONATEE	44,489215	74,54539322	31,90293716	36,35666143
en 1000 M3	EAU ADOUCIE	76,9760781	131,5345988	120,3686829	132,0647589
en 1000 M3	EAU DE FORAGE	20,5174657	37,89089639	34,65827047	34,77393153

Tableau comparatif du coût total pour chaque fluide :

	Coût total (exploit + entretien) en €					
	2008	2009	2010	2011 jusqu' a avril	%2008	%2011
GAZ NATUREL	14065485,86	8337572,37	10560144,35	4313714,8	76,26315111	74,90211804
AIR COMPRIME	668717,44	715260,35	825046,02	251414,37	3,625790086	4,365487681
EAU SURCHAUFFEE	3088326,58	2099187,26	2479415,32	989262,41	16,74492577	17,17727139
AZOTE	12048,83	74357,84	59393,13	27090,59	0,065328831	0,470393307
EAU CLARIFLOCULEE	264839,98	295479,2	259988,09	77033,26	1,435964006	1,337583638
EAU DECARBONATEE	222864,36	249955,77	238707,02	69174,26	1,208371935	1,201122195
EAU ADOUCIE	78493,52	65522,43	80359,16	16758,34	0,42559235	0,290987054
EAU DE FORAGE	42581,27	59546,12	47093,43	14687,91	0,230875909	0,255036696
total	18443357,84	11896881,3	14550146,52	5759135,94	100	100

Le fluide le plus impactant est le gaz naturel avec un 75%, suivi de l'eau surchauffée avec 17,2%.

Finalement, avec des techniciens on a décidé d'étudier l'eau surchauffée pour des raisons suivantes :

- A) Il y a des sites qui ont diminué leur consommations (jusqu'à zéro ou presque zéro). Par conséquent, la puissance demandée par certains sites a baissé notablement et il faudra s'ajuster à la nouvelle demande sur le site.
- B) Grâce au tableau on peut voir que l'eau surchauffée est le deuxième fluide plus impactant par rapport au coût total des fluides sur le site, mais, en plus, son coût est directement lié au prix du gaz naturel (lequel est le plus cher) car on chauffe l'eau par combustion du gaz naturel dans les chaudières

6.- Réseau d'eau surchauffée :

Décisions techniques prises et à tenir compte lors d'une réunion avec des techniciens afin de s'adapter à la nouvelle demande et diminuer les coûts:

- A) Décisions technologiques: On est assez limité à changer la structure du réseau car les machines et les matériaux sont déjà bien dimensionnés pour fournir le site et aussi on devrait être prêt pour une possible augmentation de la production. Les chaudières (avec des économiseurs), les pompes, l'acier pour les tuyaux et les isolants utilisés sont déjà bien dimensionnés pour le site et doivent s'adapter à la normative exigée. En plus, des modifications sur ces paramètres peuvent entraîner des investissements assez élevés.
- B) Décisions sur l'architecture du réseau: dans cette situation on doit étudier une nouvelle architecture du réseau. Il faut alors bien connaître le circuit et savoir quel sont les sites qui ont arrêté leur production et savoir les besoins énergétiques des sites qui encore produisent et les localiser sur le plan d'eau surchauffée.

Désormais on va étudier le circuit d'eau surchauffée et voir les possibles modifications.

6.1.- L'installation :

Le circuit de chauffage est composé par : [\[voir annexe 5\]](#)

- 1 bâtiment ou il y a 2 chaudières et 5 pompes centrifuges de circulation (2 en fonctionnement et 3 en secours)
- une bâche alimentaire.
- un ballon sous pression d'azote.
- une tuyauterie qui appartient au circuit primaire (pour l'aller et pour le retour) et une autre pour le circuit secondaire.
- échangeurs de chaleur, et d'autres machines qui ont besoin de l'énergie calorifique de l'eau, ceci sont les points de consommation.
- divers appareils par exemple compteurs, vannes régulatrices, purges, soupapes, etc.

Il faut parler de leurs caractéristiques principales de certaines et expliquer en peu le fonctionnement :

Chaudières :

- Chaudière Carosso: 55,5m³/h débit min, T_{sur}=175°C, T_{ent} : 160°C, P=12MW
- Chaudière Alstom: témp maxi 175°C et 148°C min, P= 12MW.
- Réseau ES: Débit min: 230m³/h pour une chaudière en fonctionnement et le double pour les deux chaudières en fonctionnement. Débit max de 350 pour une chaudière et presque le double pour les deux.

Pompes :

- 2 Pompes en parallèle: KSB de 450m³/h débit maxi et 230m³/h débit min
Moteur SIEMENS 75 KW, $\eta = 0,983$
DN 250 H_{max} (mano)= 45m
Consigne de travaille: entre 40 et 42 m

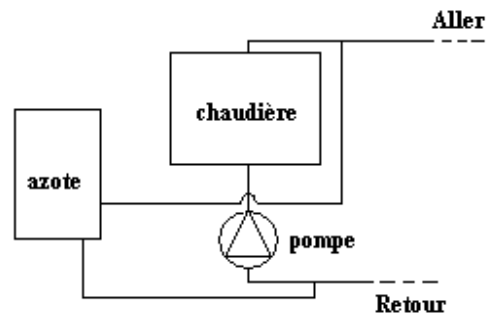
Tuyauterie :

- Type acier: acier en carbone sans soudure TUE 250 B suivant norme NFA 49.211

6.2.- Cycle de l'eau :

L'eau est maintenue toujours en état liquide. Le départ de la chaudière est à 15 bars et 175°C. En long de la tuyauterie on a des pertes de charge, (pression statique et dynamique), c'est pourquoi les pompes doivent compenser ces pertes de charge. De toute façon dans le bâtiment de la chaudière il y a un vase d'expansion (azote) qui assure une pression minimal dans le réseau afin d'éviter que l'eau vaporise et en plus éviter la cavitation des pompes et absorber les variations brusques de pression.

Voici un schéma simplifié de la connexion :



En plus le circuit d'eau surchauffée est interconnecté avec le circuit d'eau adoucie afin de contrôler les possibles fuites et encore la sur ou sous pression du circuit. Il faut donc ajouter au graphique précédent d'autres parties :

bâche d'eau adoucie

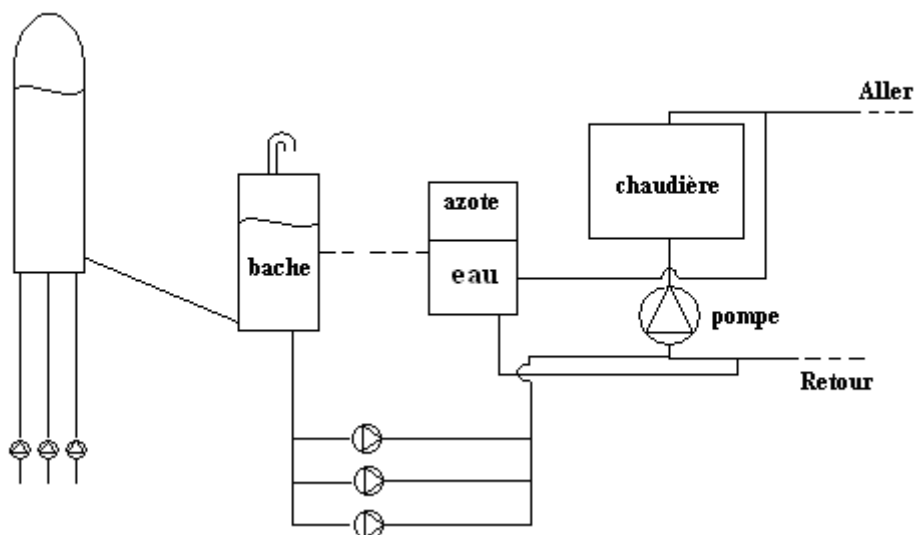


Schéma 1 : interconnexion circuit eau surchauffée avec l'eau adoucie, vase d'expansion et le ballon sous pression d'azote.

On a plusieurs vannes régulatrices qui s'ouvrent en fonction de la pression du circuit, les pompes de restitution tournent en fonction de l'hauteur d'eau à la bâche mesurée par un capteur. Le système fonctionne automatiquement mais chaque jour il y a un technicien qui révisé tous les appareils et l'ensemble du circuit pour vérifier le bon fonctionnement.

Le cycle est fermé pour assurer à tout moment un débit minimum de circulation d'eau, même s'il n'y a pas de consommation.

On est allé sur place et on a vu ces deux types d'interconnexion entre le circuit primaire et secondaire :

1

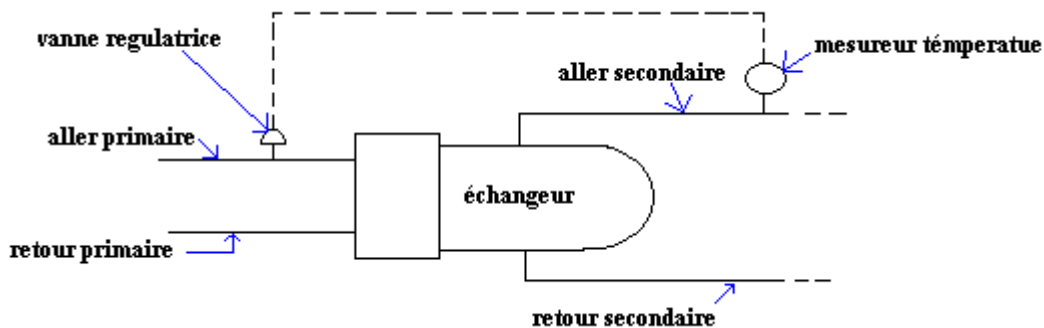


Schéma 2 : connexion aller-retour circuit primaire d'eau surchauffée à travers d'un échangeur

2

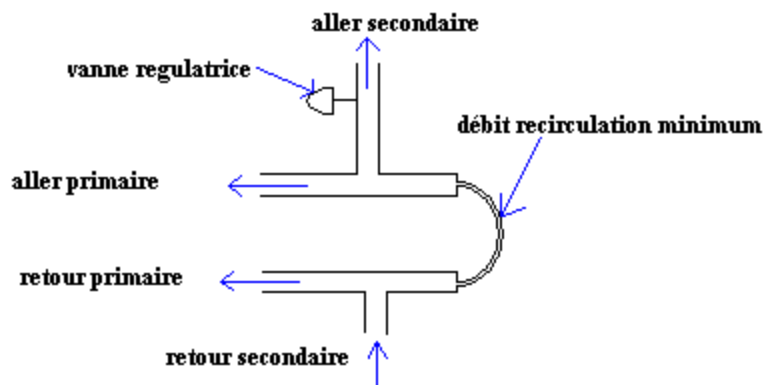


Schéma 3 : connexion aller-retour circuit primaire d'eau surchauffée à travers d'un tuyau de DN plus petit

Avec cette configuration le consommateur peut réguler l'énergie consommée (ou même le débit) à partir de la vanne régulatrice laquelle s'ouvre plus ou moins en fonction de la température de départ que reçoit du circuit secondaire. L'explication que le tuyau d'union entre l'aller et le retour du circuit primaire soit beaucoup plus fin, c'est pour favoriser la l'écoulement d'eau au circuit secondaire, car à l'union on a plus de pertes de charge. (on peut faire la similitude avec un circuit électrique). Les chaudières ont un fonctionnement en cascade, c'est-à-dire, tant que la consommation ne dépasse pas la puissance de 12000 KW il y aura une chaudière qui fonctionnera, et dès que la consommation dépasse de 12000 KW, la deuxième chaudière démarrera. Cette façon de travailler c'est faite pour avoir un bon rendement et que le rapport entre le débit et la puissance consommée soit le plus grand possible.

Si on fait un schéma plus général du réseau on a le suivant :

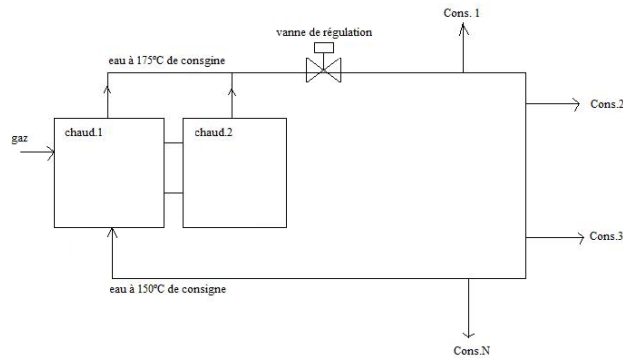
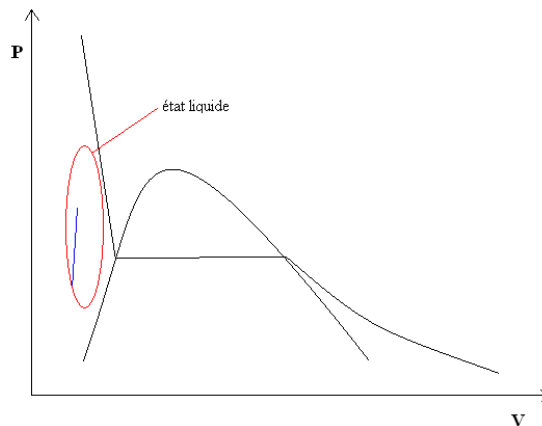


Schéma 4 : Liaison entre circuit primaire et secondaire d'eau surchauffée. Chaudières connectées en parallèle et vanne régulatrice tarée à 16 bars

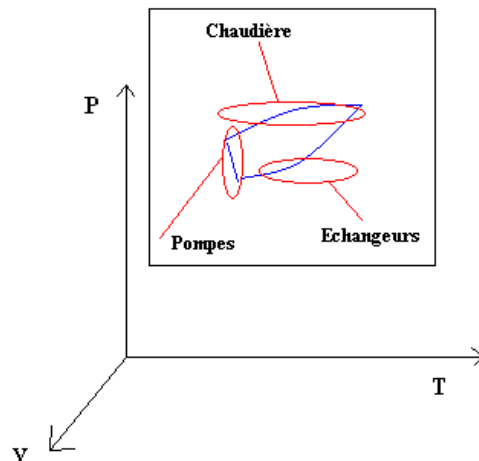
Dont cons1, cons2, cons N appartiennent au circuit secondaire. Le réseau est ramifié avec de connexions en parallèle. Finalement on peut avoir une idée du cycle fermé de l'eau dans différents diagrammes :



Graphique 1 : Diagramme P-V du cycle de l'eau surchauffée. L'eau est maintenue toujours en état liquide. Le cycle ne fournit aucun travail.

On est toujours dans la zone liquide. La ligne bleue représente le cycle de l'eau, donc on peut remarquer que la variation de volume est très faible, par conséquent le cycle ne fournit pas de travail, seulement fournit de la chaleur, par contre il le reçoit des pompes (travail) et de la chaudière (chaleur). Un peu plus clair on peut le voir ci-dessous :

Un peu plus clair on peut le voir ci-dessous :



Graphique 2 : Diagramme P-T du cycle de l'eau. Plus grande est la surface du cycle fermé, plus calories consomme le circuit secondaire.

Le rendement du cycle est :

$$\eta = \frac{Q_{\text{échangeurs}}}{W_{\text{pompes}} + Q_{\text{chaudière}}}$$

On essaye d'augmenter le rendement pour diminuer les coûts, donc, soit on augmente la chaleur transférée dans les échangeurs soit on diminue le travail des pompes et la chaleur livrée par la chaudière. La chaleur transférée dans les échangeurs dépend, entre d'autres, de la surface d'échange des tous les tuyaux qui sont dedans, mais dans cet étude on ne peut pas la modifier. Pour diminuer le travail des pompes il faut diminuer les pertes de charge car les pompes tournent plus ou moins vite en fonction des pertes de charge. L'équation qui explique ça est celle de Bernoulli :

$$\frac{P1}{\rho g} + \frac{V1}{2g} + Z1 - h_c = \frac{P2}{\rho g} + \frac{V2}{2g} + Z2 + \text{pompes}$$

Les moteurs qui font tourner les pompes consomment de l'électricité du réseau de la compagnie électrique. Les pertes de charge dépendent de la longueur, du diamètre et de la vitesse de l'eau dans le tuyau :

$$h_c = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

A la chaudière on a un contrôleur qui mélange la quantité suffisante de combustible avec de l'air selon le débit qui circule juste pour faire monter l'eau jusqu'à 175°C.

Mais encore plus, la chaudière fournit aussi les pertes de chaleur qu'il y en a en long de la tuyauterie. Les pertes de chaleur dépendent, entre d'autres, de la longueur, le diamètre et l'épaisseur de l'isolant :

$$Q = \frac{\pi (t_i - t_s) 2 \lambda}{\log \frac{de}{di}}$$

Au niveau des échangeurs et des points de consommations, on peut utiliser :

$$(A) P = C \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta T \text{ et aussi } M_a \cdot (H_{2a} - H_{1a}) = M_b \cdot (H_{2b} - H_{1b})$$

P= puissance calorifique, C= capacité calorifique, ρ = volume massique, Q = débit
 ΔT = écart température, M = fluxe massique, H = enthalpie

Ca découle de :

- 1) $\Delta H = \Delta U + \Delta PV$
- 2) $\Delta U = Q + W$
- 3) $Q = Cm\Delta T$

Dont :

U = énergie interne

P = pression

V = volume

m = masse

W = travail

Dans cette étude $W = 0$ et $\Delta PV = 0$ car on considère qu'il n'y a pas variation de volume. En réalité il y a des petites variations mais on peut largement les négliger. Donc, avec les considérations précédentes on a : $\Delta U = \Delta H = Q$ et on vérifie l'expression (A).

6.3.- Plan du réseau :

Voici un schéma très simplifié de la distribution actuelle du réseau :

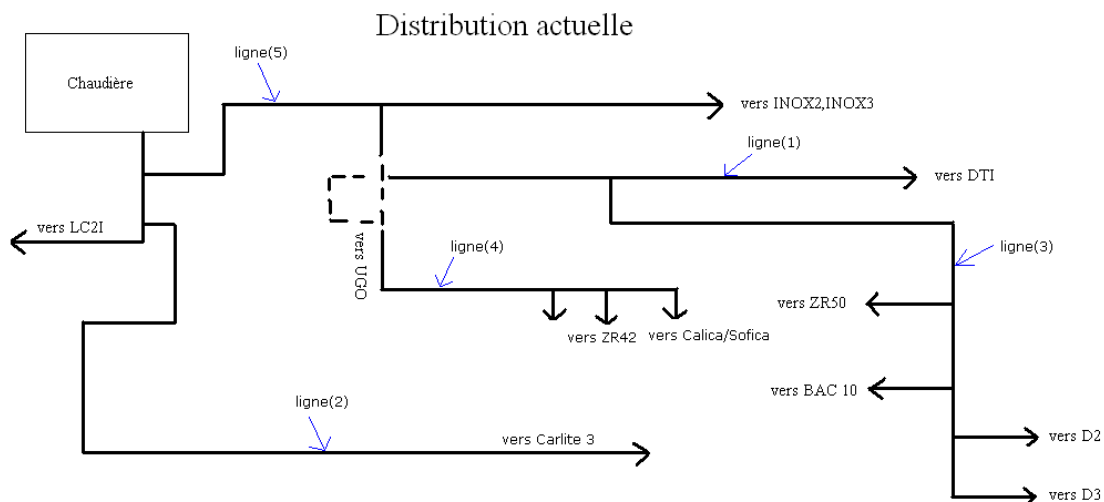


Schéma 5 : Ramifications principales du circuit d'eau surchauffée. Le plan n'est pas à échelle.

6.4.- Modifications proposées :

- A) Action 1: Suppression de la ligne (1) qui alimente la partie DTI
- B) Action 2: Suppression de la ligne (2) qui alimente l'ensemble de Carlite 3 et étudier la possibilité d'installer une petite chaudière pour chauffer cette partie.

7.- Etude technique :

Pour l'étude technique on a récupéré tous les outils et données qu'on aura besoin pour bien comprendre le fonctionnement du circuit d'eau surchauffée.

Propriétés de l'eau :

7.1.- Propriétés de l'eau :

Propriétés de l'eau à 175 et 147°C en état liquide

	à 175°C (aller)	à 147°C (retour)
Temperature °C	175	147
Pression bar	15	15
Viscosité cinématique m ² /s	1,78125E-07	0,000000207
Densité kg/m ³	891,89	919,26
Chaleur spécifique J/Kg°C	4396,25	4302,45

Tableau 1 : Propriétés de l'eau [voir annexe 2]

7.2.- Formules à utiliser : Pertes de charge, de chaleur et puissance

$$\text{Darcy-Weisbach: } h_c = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{Colebrook: } \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

$$\text{Pertes de chaleur: } Q = \frac{\pi (t_i - t_s) 2 \lambda}{\log \frac{de}{di}}$$

$$\text{Puissance Pompe: } N_u = Q \cdot \gamma \cdot H \quad \text{Puissance moteur} = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{\eta}$$

$$\text{Équation 2 pompes en parallèle: } H = a + b \cdot \left(\frac{Q}{n} \right)^2 \quad (\text{Dans notre cas } n=2)$$

$$\text{Echange de puissance calorifique: } P = C^* \rho^* Q^* \Delta T \quad \text{Reynolds} = \frac{1000 \cdot v^* D}{\text{visc. cinem}}$$

Dont :

L = longueur tuyau D = diamètre v = vitesse k = rugosité f = coefficient de friction

Re = Reynolds Q = débit $\gamma = \rho g$ H = hauteur manométrique η = rendement

C = capacité calorifique λ = conductivité thermique ΔT = écart température

Le régime à toute la tuyauterie est turbulent.

Pour le cas de l'eau surchauffée, la vitesse maximum doit être comprise entre 2 et 2,5 m/s afin d'être dans les limites de sûreté (bruit et vibrations), pour assurer le bon dimensionnement des tuyaux (DN), et pour avoir les pertes de charge, chaleur et coûts maximums qu'on peut atteindre. Les deux consommateurs principaux sont la ligne de LC2I et UGO.

7.3.- Puissances installées sur le site :

Il est important de connaître la puissance thermique installée sur le site par rapport à l'eau surchauffée. Donc on a récupéré les données de puissance :

Consommation usine		P installé en KW	P moyenne demandé en KW
LC2I		9100	2653,114754
UGO		9000	4303,829114

Decomposition UGO		P installé en KWth
Circuit primaire 1		
bureaux fabr		175
bac eau chaud carlite 3		170
sécheur 1 carli3		195
sécheur 2 carli3		290
sécheur 1 carli 2		195
Circuit primaire 2		
Decarbo 3		645
Decarbo 2		1163
BAC 9 et 10 m3		820
ZR50		338,4
Circuit primaire 3		
prép caliqua/sofica		3500
bac eau chaud ZR42		338,4
bac lav décarb 1		175
chauffage rectifieuse		?

Tableau 2 : Différentes puissances installées sur le site.

Parfois la puissance a été une donnée directe mais parfois il a fallu faire un petit calcul. Par exemple avec ZR50 et ZR42 on a des bobines de 20 tonnes qui sont plongées dans l'eau à 20°C et il faut monter la température jusqu'à 80°C dans un délai de 30 minutes, après on baisse la puissance juste pour maintenir la bobine à 80°C. Il faut aussi tenir compte les pertes de chaleur à la surface de l'eau, c'est-à-dire, les pertes de chaleur par convection avec l'air. Pour les chaudières des bureaux de fabrication on les a compté et fait le somme totale.

On est allé au bâtiment de la chaudière pour récupérer des données. Là-bas on a des armoires avec des écrans digitales dont il y a noté la puissance consommée et le débit (instantanées) de chaque partie ; LC2I et UGO. De même on a des données de puissance, débit, pression, température de départ et de retour sur la chaudière.

Si on les met dans une graphique on obtient les résultats suivants :

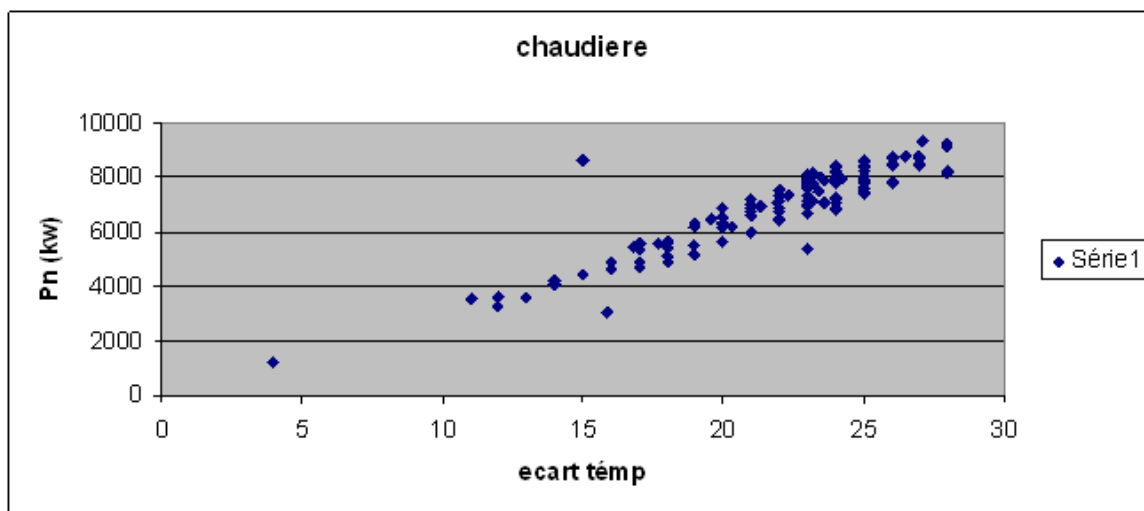


Schéma 8 : Données chaudière depuis mars jusqu'à juin 2011. Comportement linéaire ente la puissance et l'écart de température.

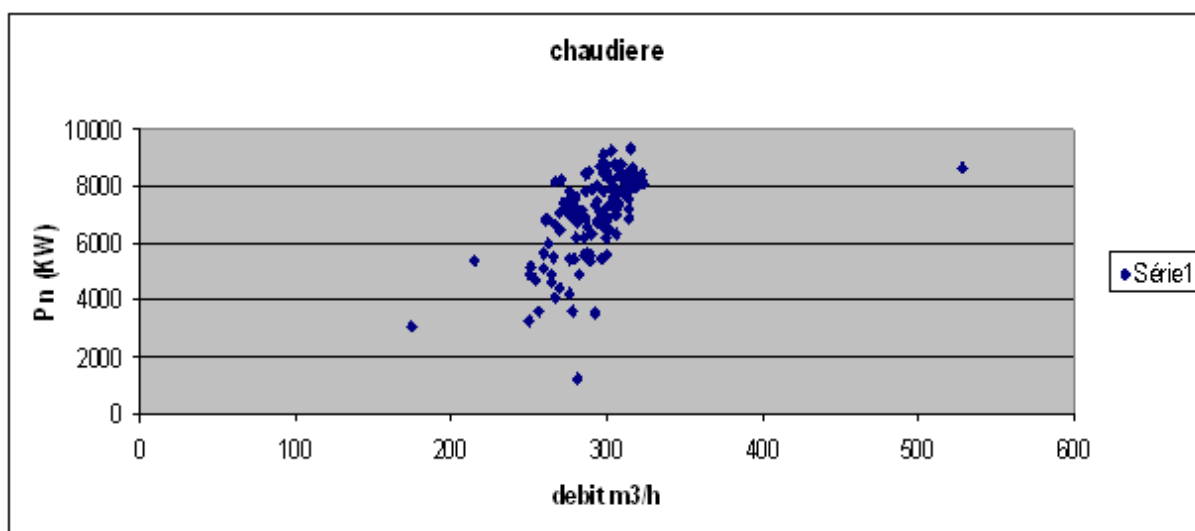


Schéma 9 : Données chaudière depuis mars jusqu'à juin 2011. Tendence linéaire entre la puissance et le débit

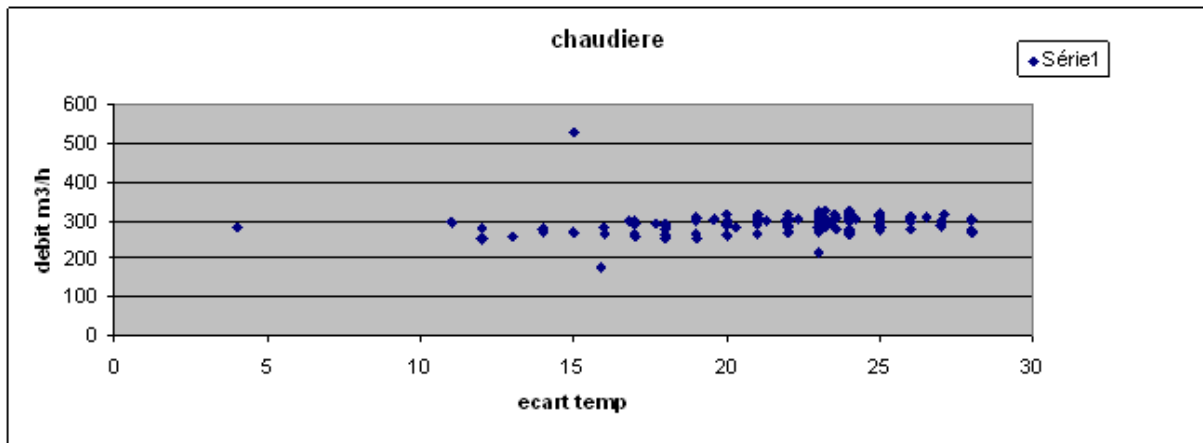


Schéma 10 : Données chaudière depuis mars jusqu'à juin 2011. Comportement constante entre le débit et l'écart de température.

Résumé :

Chaudière	Valeur en °C
Temp départ	175
Temp max ret	170
Temp moyenne ret	153
Temp min ret	147
ΔT max	28
ΔT moyenne	22
ΔT min	5

Tableau 4 : Résumé des données de la chaudière depuis mars jusqu'à juin 2011

On rappelle l'action (3) : Etudier la possibilité de relier la ligne (3) à la ligne qui alimentait la ligne (1), c'est-à-dire, l'ensemble d'usines qui ont une puissance thermique installée de 1025KWth, ce qu'on appelle Carlite3. On a réfléchi la possibilité d'alimenter cette partie depuis la ligne (4) car le parcours est plus court et on pourrait économiser plus, mais au cours de l'étude on verra que ça n'est pas possible.

D'abord on a fait sortir les plans de l'eau surchauffé. Il y a un plan général d'ES de tout le site, mais pour bien faire l'étude il faut faire sortir les plans sur chaque partie pour mesurer toutes les longueurs de chaque tuyau et les diamètres de chacun. Parfois il a fallu vérifier que les plans sont actualisés car il y avait des modifications sur le réseau qui n'étaient pas actualisés sur les plans. Pour l'instant on a les puissances installées de chaque point de consommation, longueurs et diamètres des tuyaux.

Mais avant de considérer cette option, on est allé sur place pour voir la faisabilité de relier les tuyaux, s'assurer qu'il y a la place et que rien n'empêche de l'installer. Avec l'aide d'un mesureur laser on a estimé une longueur de **180 m** pour l'aller et pareil pour le retour. La nouvelle ligne pendrait au plafond au moyen de câbles.

Donc, le but de l'étude technique est de savoir si on est capable de fournir la partie Carlite3 depuis les lignes (4) ou (3) sans modifier l'installation actuelle, seulement en ajoutant une nouvelle ligne et en supprimant la ligne (2).

Voir la différence des pertes de charge et des pertes de chaleur sans une nouvelle ligne et avec. Surveiller la vitesse de chaque morceau de tuyau afin de respecter les limites de sûreté et comparer s'il est possible d'économiser avec d'autres diamètres sur la nouvelle ligne. On aura besoin alors de connaître le débit maximum de consommation de chaque consommateur.

Ce type de circuit est un circuit ramifié dont à chaque ramification il y a des connexions en parallèle. Le comportement du réseau est très similaire comme celui d'un circuit électrique. Plus on ajoute de résistances en parallèle, plus petite est la résistance équivalente dans électricité, alors qu'on peut faire la similitude avec les pertes de charge, lesquelles dépendent de la section du tuyau et de la vitesse. Forcément, comme le diamètre du tuyau est constant ça sera la vitesse qui diminuera. Voici l'importance de savoir le débit qui circulera dans chaque morceau des tuyaux.

Normalement pour ce type de problème on met des équations de continuité et d'énergie (Bernoulli) pour chaque nœud du circuit dans un logiciel, lequel, avec un marge d'erreur donné par l'utilisateur, commencera à itérer jusqu'à arriver à la solution souhaitée en obtenant les débits cherchés.

Autrement, on peut calculer séparément les pertes de charge depuis chaque consommateur jusqu'à l'entrée à la chaudière et à la fin choisir celui avec des pertes les plus grands et prendre ce valeur comme le maximum. Dans la littérature on a trouvé des exemples dont on fait la même que le cas précédent mais en ajoutant le débit et les pertes de charge de chaque morceau au suivant, pour ce type de circuit ramifié.

Désormais on fera plus attention à la partie UGO car le tuyau qu'on veut relier appartienne à cette partie

7.4.- Méthode de travail :

Du au fait que le niveau de production (et par conséquent le niveau de puissance) varie, il faut considérer que toutes les usines de la partie UGO tournent au même temps à leurs puissances installées. De cette façon on obtiendra un débit maximum appelé et on pourra étudier chaque morceau de la tuyauterie et savoir en suite si on est capable de fournir les usines qui sont en aval. Pour chaque point de consommation on a fait un tableau comme celui-ci-dessous :

D3	valeur	unités
Pn D3 =	645	KW
témp entré =	175	°C
témp sortie =	147	°C
presion entré=	15	bar
presion sortie=	14	bar
DN100	100	mm
Qmin =	21,1500066	m3/h
vitesse =	0,74802847	m/s
Longueur A/R=	19,5	m
Pert chal A =	1,13127709	KW
Pert chal R =	0,9333036	KW
P à fournir =	647,064581	KW
Pert charg A =	0,08160313	m
Pert charg R =	0,08160497	m

Tableau 5 : Tableau exemple des caractéristiques techniques d'un point de consommation du circuit secondaire d'eau surchauffée.

D0			D2			BACn°16			H1, H2 et 3 étage			ZRS0		
Pr.D2.	valeur	unité	Pr.D2.	valeur	unité	Pr.BACn°	valeur	unité	Pr.Curtis 3	valeur	unité	Pr.ZRS0	valeur	unité
Héop.entr.	145 KW		Héop.entr.	163 KW		Héop.entr.	129 KW		Héop.entr.	1025 KW		Héop.entr.	231,7 KW/h	
Héop.entr.	147 °C		Héop.entr.	175 °C		Héop.entr.	175 °C		Héop.entr.	175 °C		Héop.entr.	175 °C	
Préchauff.entr.	15 bar		Préchauff.entr.	15 bar		Préchauff.entr.	15 bar		Préchauff.entr.	15 bar		Préchauff.entr.	15 bar	
Préchauff.entr.	150 mm		Préchauff.entr.	150 mm		Préchauff.entr.	150 mm		Préchauff.entr.	1 bar		Préchauff.entr.	1 bar	
Omin.	21,690464 m³/h		Omin.	31,535934 m³/h		Omin.	24,883308 m³/h		Omin.	33,549181 m³/h		Omin.	11,945176 m³/h	
Uchaleur.	0,74921841 m/s		Uchaleur.	1,0417071 m/s		Uchaleur.	2,35804479 m/s		Uchaleur.	0,8232329 m/s		Uchaleur.	1,65491602 m/s	
Lam.quer Affr.	115 m		Lam.quer Affr.	115 m		Lam.quer Affr.	205 m		Lam.quer Affr.	180 m		Lam.quer Affr.	235 m	
Part chaudi.	1,015217901 KW		Part chaudi.	0,64761547 KW		Part chaudi.	0,84499334 KW		Part chaudi.	16,164561 KW		Part chaudi.	1,30939916 KW	
Part chaudi.	0,9323261 KW		Part chaudi.	0,5904992 KW		Part chaudi.	0,41578124 KW		Part chaudi.	11,6499761 KW		Part chaudi.	1,5478904 KW	
P d'éclairc.	1,4754617572 KW		P d'éclairc.	116,413752 KW		P d'éclairc.	321,3204907 KW		P d'éclairc.	405,05616 KW		P d'éclairc.	3,405,033 KW	
Part chéq.4	0,0196183 KW		Part chéq.4	0,0445261 KW		Part chéq.4	1,319943261 KW		Part chéq.4	0,2304863 KW		Part chéq.4	1,54294143 KW	
Part chéq.4	0,031044979 m		Part chéq.4	0,0540261 m		Part chéq.4	1,319943261 KW		Part chéq.4	0,2304863 KW		Part chéq.4	1,54294143 KW	
Parteur entre D2 et D3			Parteur entre D2 et BACn°			Part. chaudi.entre BACn° et pignon H1			Part. chaudi.entre H1 et ZRS0			Part. chaudi.entre H1 et ZRS0		
DHIS0	valeur	mm	DHIS0	valeur	mm	DHIS0	valeur	mm	DHIS0	valeur	mm	DHIS0	valeur	mm
Omin.	21,690467 m³/h		Omin.	59,21581 m³/h		Omin.	16,17781055 m³/h		Omin.	19,174485 m³/h		Omin.	19,174485 m³/h	
Uchaleur.	0,3240278 m/s		Uchaleur.	0,52191975 m/s		Uchaleur.	1,35456181 m/s		Uchaleur.	1,83329217 m/s		Uchaleur.	1,83329217 m/s	
Héop.4	175 °C		Héop.4	175 °C		Héop.4	175 °C		Héop.4	175 °C		Héop.4	175 °C	
Héop.4	147 °C		Héop.4	147 °C		Héop.4	147 °C		Héop.4	147 °C		Héop.4	147 °C	
Lam.quer Affr.	16 m		Lam.quer Affr.	1 m		Lam.quer Affr.	1 m		Lam.quer Affr.	1 m		Lam.quer Affr.	1 m	
Part chaudi.	1,190285 KW		Part chaudi.	0,07721023 KW		Part chaudi.	2,242198949 KW		Part chaudi.	2,24419587 KW		Part chaudi.	2,24419587 KW	
Part chaudi.	0,9992204 KW		Part chaudi.	0,06442032 KW		Part chaudi.	1,83329217 KW		Part chaudi.	1,83329217 KW		Part chaudi.	1,83329217 KW	
Part chéq.4	0,0079933 KW		Part chéq.4	0,00391105 KW		Part chéq.4	0,240404921 m		Part chéq.4	0,74247471 m		Part chéq.4	0,74247471 m	
Part chéq.4	0,0079933 KW		Part chéq.4	0,00391105 KW		Part chéq.4	0,240404921 m		Part chéq.4	0,74247471 m		Part chéq.4	0,74247471 m	
P d'éclairc.	0,011058 KW		P d'éclairc.	0,00484508 KW		P d'éclairc.	4,240404921 m		P d'éclairc.	0,74247471 m		P d'éclairc.	0,74247471 m	
Parteur de chaudi.entre ZRS0 et pignon qui sert entre hallier D-E et entre les 154ir			Puissance total demandé pour q'3 cette vanne hallier D-E et entre les 154ir											

On a fait la même étude en considérant trois cas :

Cas2) : la température de retour est égale à 147°C avec l'addition de la nouvelle ligne et arrêt de la ligne(2).

Cas3) : la température de retour est égale à 147°C sans l'addition de la nouvelle ligne.

La température de retour et la vitesse :

Ces deux paramètres ont été une contrainte au moment de faire les calculs.

32

Si par exemple on essaye de dimensionner le débit par rapport à la vitesse on peut percevoir qu'on se tromperait dans les calculs car pour les cas de la nouvelle ligne qui a une puissance installée de 1025KWth et DN150 on obtiendrait une température de retour de 168°C et un débit de 127 m³/h et ça ne correspond pas à la réalité en sachant que le débit maximum pour une chaudière c'est de 350 m³/h et il faudrait ajouter encore les autres points de consommation.

La température : Les pertes de chaleur dépendent proportionnellement de l'écart de température. Pour un débit constant donné, si la température de retour est plus haute, les pertes de chaleur seront plus grandes et vice versa. Si on maintient la même quantité de débit et la puissance consommée augmente, la température de retour sera plus basse et par conséquent les pertes de chaleur seront plus petites (moins écart de température). Par contre dans le deuxième cas la quantité de gaz brûlé à la chaudière au retour sera plus grande.

Par ailleurs, on peut augmenter la puissance d'alimentation en augmentant le débit grâce aux pompes de circulation ou même grâce à des vannes régulatrices. La conclusion est qu'on peut avoir différents écarts de température avec la même quantité de débit ou puissance consommées. Plus écart de température moins pertes de chaleur et plus de gaz à brûler ; Donc, c'est où le point d'équilibre le plus rentable ? Il faut aller aux données de la chaudière et voir quels sont les marges de fonctionnement pour une puissance donnée. En plus, il faut rappeler que la température de retour dépend aussi de la température des mélanges.

La puissance considérée de la partie UGO lors de l'étude a été de 8245 KWth. Grâce aux graphiques de la chaudière on peut dire que pour les niveaux de consommation entre 8000 KWth et 9000 KWth les écarts de température sont entre 23 et 28°C pour un débit moyen de 290 m³/h.

On a pris finalement une température de retour de **147°C** car c'est une température de consigne de retour. (Rappelez que la température moyenne de retour est de **153°C**) On comparera les trois cas et on expliquera les résultats en s'aidant des formules et des graphiques de la chaudière. En plus on verra que les résultats obtenus correspondent aux marges de fonctionnement. Il faut dire aussi qu'aujourd'hui il suffit de travailler avec une chaudière, tant que la puissance demandée du site ne dépasse pas de 12000KW, il y aura une chaudière en fonctionnement. En plus, si on avait pris une température de retour de 155°C on aurait dépassé le débit de 350 m³/h, et ceci est impossible pour une seule chaudière en fonctionnement.

Au moment de faire le calcul on a considéré le suivant :

- L'isolant est de laine de verre pour tous les tuyaux avec une épaisseur de 50 mm. On a mesuré sur place et l'épaisseur est la même avec n'importe quel diamètre
- Pour l'étude on peut négliger la vitesse de l'air extérieur car avec l'épaisseur de l'isolant l'influence est très petite. [\[voir annexe 3\]](#)
- Il faut considérer l'aller et le retour pour les calculs, même pour les pertes de charge et les pertes de chaleur.
- Les puissances de consommation sont les puissances installées.
- Pour le cas (1) l'écart de température est de 175°C moins la température de retour mesurée sur place. Pour les cas (2) et (3) la température de retour est de 28°C, c'est-à-dire 175 – 147°C

- La température extérieure dépend de la saison mais on a pris une température moyenne de 15°C.

- On ne considère pas le débit de recirculation, c'est-à-dire, le débit minimum qui circule par le tuyau d'union entre l'aller et le retour du circuit primaire pour assurer un cycle fermé de l'eau dans le cas qu'il n'y a pas de consommation.

- On néglige les pertes de chaleur dans les échangeurs car c'est la limite entre le circuit primaire et secondaire.

- On ne va pas considérer non plus l'épaisseur du tube d'acier ni sa conductivité thermique par rapport à cela de la laine de verre.

Après appliquer le procédé précédent on est arrivé aux résultats suivant au niveau de la chaudière :

	cas (1)	cas (2)	cas(3)
Puissance kWth	8204,04	8219,945788	8266,839496
Qmin m3/h	174,25	269,1702319	271,0755199
temp retour °C	130	147	147
vitesse m/s	0,99	1,5231919	1,53
Pertes de charge m	très petites	40,33815117	41,75872627

Tableau 7 : Puissances et débits demandés à la chaudière selon les cas

On va expliquer les résultats de chaque cas et les différences qu'il y en a entre eux

Cas (1) : Les températures de retour sont celles prises sur place. Ici on devrait tenir compte de la production de LC2I, comme ça, la température de retour serait plus grande à cause du mélange des débits. En plus, même si on ne considère pas la production de LC2I, le débit minimum de circulation c'est de 230m3/h(car c'est le régime minimum de fonctionnement d'une seule chaudière), donc, ça ferait varier la température de retour, les pertes de charge et les pertes de chaleur. Dans ce cas là, au moment de calculer les résultats le long de la ligne(4), on a obtenu les résultats suivants au départ de la ligne(4) :

DN150	valeur	unités
témp entré =	175	°C
témp sortie =	142,7	°C
P chal total=	4048,184907	KW
P charg total =	0	m
Qmin=	116,149993	m3/h
vitesse=	1,825762521	m/s

Tableau 8 : Caractéristiques thermodynamiques au départ de la ligne (4)

Même si le débit dans ce cas est plus petit, on voit qu'il y a des problèmes pour alimenter la ligne car la vitesse s'approche à 2m/s et encore sans ajouter la nouvelle ligne. Il ne faut que le régime de fonctionnement soit plus critique pour surpasser les limites de vitesse et par conséquent les limites de sûreté. On doit alors écarté l'idée d'alimenter Carlite3 depuis la ligne(4). Sur les autres lignes il n'y a eu aucun problème.

Cas(2) et cas(3) : Ici on a travaille avec LC2I en arrêt et la différence entre les deux cas est négligeable. Cette différence est due à l'écarte de longueurs entre les tuyaux. Voici les tableaux :

Cas 2 :

Ligne (3)

ligne(4)

DN150	valeur	unités
P total=	4068,82	KW
ΔT =	28,00	°C
Per char tot =	17,37	m
Qmin=	133,4194884	m3/h
vitesse=	2,097	m/s

DN150	valeur	unités
témp entré =	175	°C
témp sortie =	147	°C
P total=	4048,919137	KW
Pert char tot =	17,61173374	m
Qmin=	132,7669251	m3/h
vitesse=	2,086	m/s

Au niveau de la chaudière

	valeur	unités
Puiss total=	8219,945	KW
DN250	250	mm
Qmin=	269,17	m3/h
vitesse=	1,52	m/s
Pert char =	40,34	m

Tableaux 9, 10,11 : *Caractéristiques thermodynamiques aux départs des lignes (9) (10) et (11)*

Cas 3 (sans la nouvelle ligne)

Ligne (2) et ligne (3) : aucun problème.

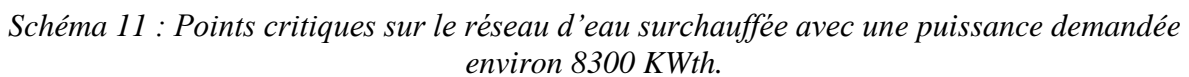
Ligne (4) :

Au niveau de la chaudière :

DN150	valeur	unités
témp entré =	175	°C
témp sortie =	147	°C
P total=	4048,91	KW
Pert char tot =	17,61	m
Qmin=	132,77	m3/h
vitesse=	2,087	m/s

	valeur	unités
Puiss total=	8266,839496	KW
DN250		mm
Qmin=	271,0755199	m3/h
vitesse=	1,53	m/s
Pert char =	41,75872627	m

Grâce au procédé précédent on peut voir d'un coup d'œil les points critiques du plan général d'eau surchauffée :



Explication des différences entre les cas: Grâce aux graphiques de la chaudière et l'étude générale du réseau on peut remarquer le suivant:

Par conséquent, si avec un même niveau de puissance consommé la température de retour diminue, ça veut dire que le débit utilisé a été plus petit, en suite, comme le diamètre des tuyaux ne change pas la vitesse diminue. Le débit est contrôlé par des vannes régulatrices qui s'ouvrent plus ou moins en fonction de la température de départ au circuit secondaire.

36

Grâce à ça on a récupéré les données de consommation d'UGO (depuis le mois de mars 2011) en obtenant les résultats suivants :

	UGO
Puissan max (KWth) =	8572,474488
Puissance moyenne (KWth) =	4303,829114
Puissance min (KWth) =	1134,214408

Tableau 12 : Résumé des puissances consommées de la partie UGO depuis mars jusqu'à juin 2011

8.- Conclusions étude technique

On a travaillé dans le cas le pire, et on a vu que toutes les vitesses sont entre 2 et 2,5m/s. On a vu aussi le comportement de la chaudière par rapport aux pertes de charge : les pompes sont réglées pour travailler entre 40 et 42m d'hauteur manométrique, la relation entre la puissance consommée et l'écart de température est linéaire, la puissance entre le débit a une tendance linéaire, et le débit avec l'écart de température a une tendance constante.

Est-ce que si on a une puissance demandée de 18000KWth sur le site (presque le maximum) on aura à peu près le même débit et le double écart de température par rapport à la situation précédente ? La réponse est non, parce qu'il faut rappeler qu'on est en train de fonctionner avec une chaudière, et si on surpasse de 12000KW, la deuxième entrera en fonctionnement et le nouveau débit minimum de circulation sera de 450m³/h et les écarts de température seront pareils et de même avec les pertes de charge grâce à des connexions en parallèle sur un circuit ramifié avec un groupe de 2 pompes en parallèle qui peuvent donner un hauteur de 45m avec un débit de 600m³/h.

Même dans cette situation on pourrait travailler avec ces valeurs, mais de toute façon ça dépend de la puissance demandé. Dans le tableau la valeur moyenne demandée par la partie UGO est égale à 4300KWth, donc, ça veut dire que tous les valeurs qu'on a calculée dans l'étude vont baisser. Il est faisable de relier un tuyau depuis la ligne(3) jusqu'à Carlite3 d'une longueur de 180m pour l'aller et pour le retour. Il faudrait savoir les perspectives de production pour faire une étude plus critique, mais il est faisable avec les perspectives actuelles.

On verra en suite les économies et les différences entre installer un tuyau de DN150 et DN100

9.- Etude technique et économique :

NOTE: Dans les résultats qu'on calculera à la suite, on a pris **8400** heures de fonctionnement, ça correspond à travailler 350 jours sans interruptions (24h sur 24h). Cette situation de fonctionnement ne correspond pas à la réalité car au cours de l'année il y a divers arrêts, mais on a pris cette valeur du à l'impossibilité d'avoir les valeurs

Finalement il est très important de remarquer que les économies calculées seront maximales.

9.1.- Pertes de charge :

On commencera par les pertes de charge :

Pour pouvoir comparer et vérifier les résultats théoriques obtenus lors de l'étude, on a cherché les caractéristiques de fonctionnement des pompes dans un catalogue KSB, c'est-à-dire, leurs courbes caractéristiques :

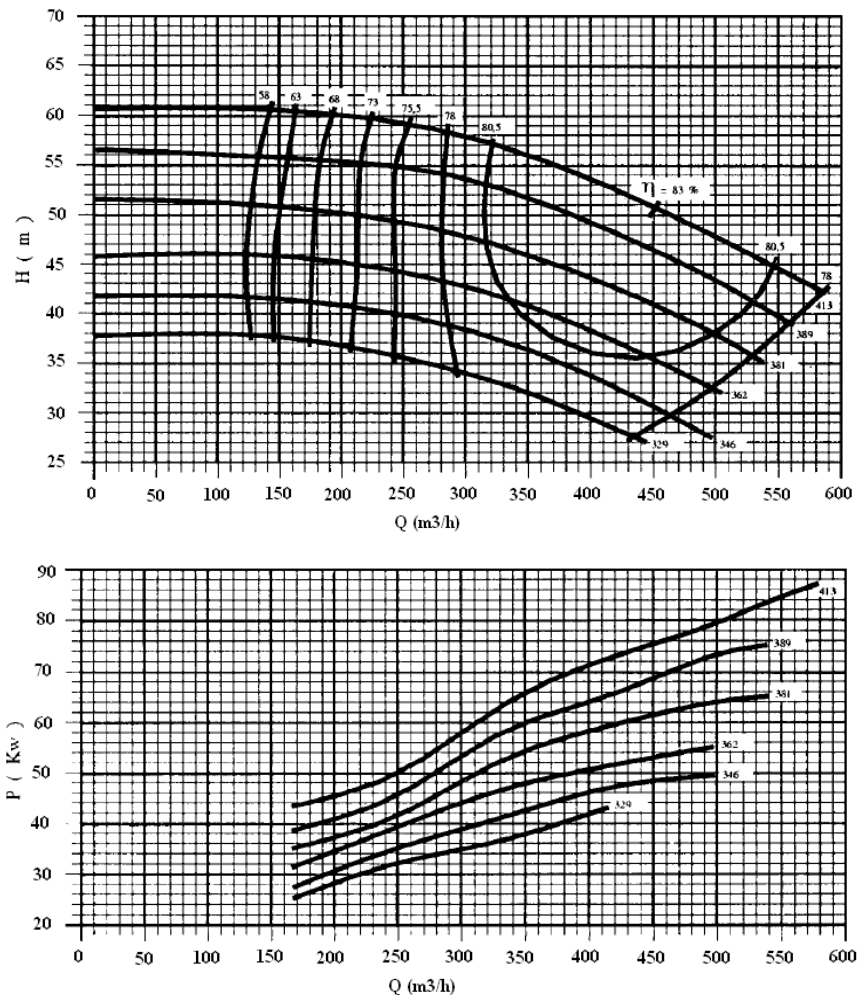


Schéma 12 : Courbes caractéristiques des pompes KSB utilisées sur le site. Hauteur manométrique et puissances consommées en fonction du débit. [Voir annexe 4]

La formule empirique à utiliser pour deux pompes connectées en parallèle est :

$$H = a + b \cdot \left(\frac{Q}{n} \right)^2$$

Dont $n = 2$ et a et b on peut les trouvés grâce au graphique, en substituant deux points. Après ça, on arrive à l'expression :

$$H = 47,34 - 1,4615 \cdot E-5 \cdot Q^2$$

Pertes de charge : On sait que pour résoudre ce type de problèmes dont le réseau est très ramifié il faut utiliser des logiciels qui font des itérations jusqu'à arriver à une marge d'erreur souhaitée afin de trouver le débit de chaque branche. On ne peut pas comparer directement les pertes de charge entre deux tuyaux car si le débit varie ça va faire varier le débit à partir du tuyau en amont et par conséquent les pertes de charge (rappelez que les pertes de charge dépendent de la vitesse et du diamètre, entre d'autres). Donc, il faut voir la puissance consommée par des pompes de circulation lesquelles compensent les pertes de charges qu'il y a le long de la tuyauterie. Voici le tableau de données à comparer entre une situation et l'autre :

	Sans modifications	Avec addition de la NL
Puiss appelée (KWth)	8266,84	8219,95
Q min (m3/h)	271,1	269,17
Vitesse (m/s)	1,53	1,52
Pertes de charge (m)	41,76	40,338

Tableau 13 : Comparaison au niveau de la chaudière entre les deux cas

Même si on a obtenu les résultats précédents, on va se situer dans le cas où on a des économies les plus grands en sachant que les pompes ont une consigne de travail entre 40 et 42 m. Voici la comparaison :

	Sans modifications	Avec addition de la NL
Débit (m3/h)	271,10	269,17
Hauteur (m)	42	40
Puissance pompes (KW)	28	27
heures fonctionnement	8400	8400
Puissance moteurs ($\eta = 0,983$)	34	32
Energie au bout d'une année (MWh)	244	230
Prix électricité (€/MWh)	60	60
Coût/année (€/année)	14616	13821

Tableau 14 : Comparaison des prix entre les deux cas

Économies max = 795,8 €/année, soit 66,3 €/mois

En sachant que le résultat c'est un écart maximum, on peut négliger l'écart des coûts des consommations des pompes

9.2.- Pertes de chaleur :

Pertes de chaleur: Ici on a plusieurs variables qui font varier plus ou moins les pertes de chaleur telles que le diamètre du tuyau et sa longueur, l'épaisseur de l'isolant et sa conductivité thermique et le gradient de températures. De toute façon, on peut comparer directement les résultats des pertes de chaleur de chaque tuyau sur les lignes. On a contrasté aussi avec des DN différents.

On va vérifier le bon choix qu'on a pris pour le diamètre du tuyau et l'épaisseur de l'isolant.

Diamètre : En admettant qu'on consomme le débit maximum et qu'on ne peut pas dépasser la vitesse de sûreté de 2m/s, on obtient un diamètre de 97mm et c'est pourquoi qu'il faut prendre celui de DN100 comme le minimum. Il est recommandable que le diamètre soit plus petit ou pareil de celui auquel il est relié (DN150). Par ailleurs, plus on augmente le diamètre plus pertes de chaleur on aura car la surface d'échange de chaleur augmente et c'est équivalent à diminuer la résistance thermique. Donc on est entre DN100 et DN150.

Isolant : Il faut savoir quelle est l'épaisseur minimum à ajouter qui fera obtenir des économies. Sur le tuyau d'étude on a deux cas :

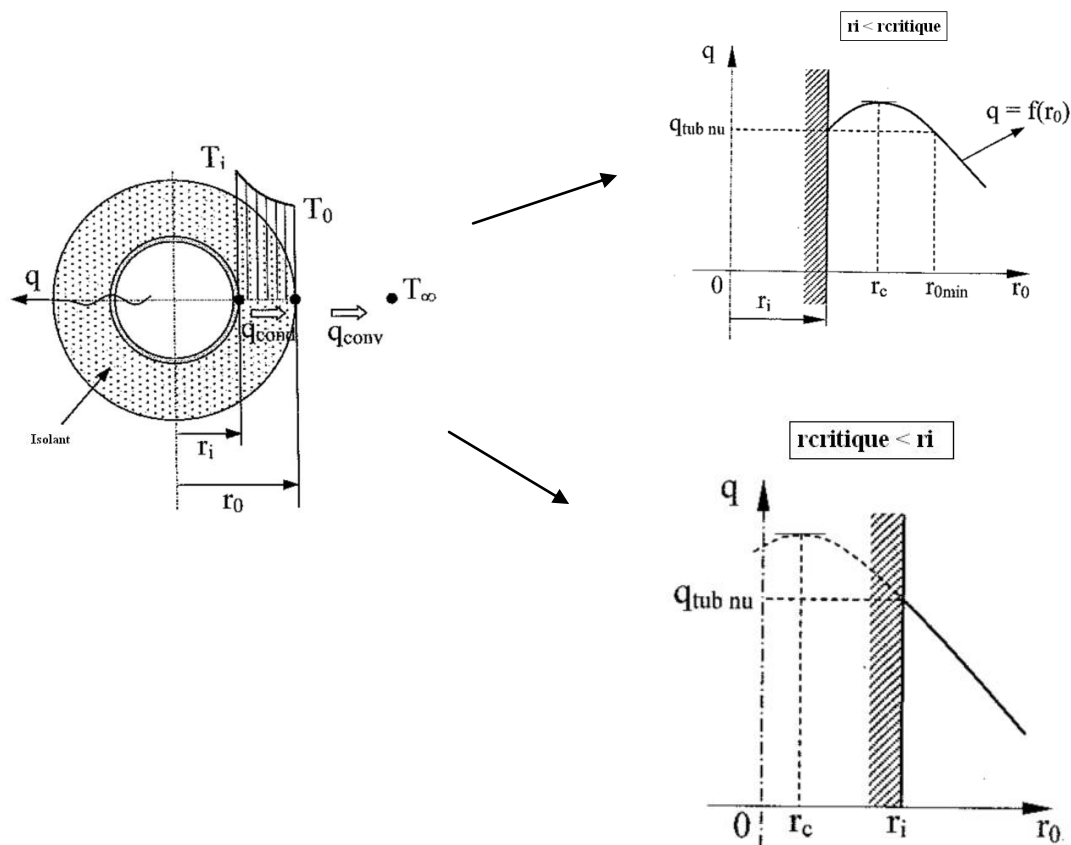


Schéma 13 : Explication graphique du rayon critique.

Différence entre les deux cas : dans le premier cas, pour avoir des économies il faut ajouter une épaisseur minimum (r critique). Si on ajoute une épaisseur minimum plus petite, la chaleur peut encore augmenter même si on ajoute de l'isolant. Dans le deuxième cas on peut ajouter n'importe quelle quantité d'isolant qu'on fera toujours des économies.

Comment trouver ce point critique ? Avec l'expression :

$$q(r_0) = \frac{T_i - T_0}{\frac{\ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)}{2\pi\lambda_{aill}L}} = \frac{T_0 - T_\infty}{\frac{1}{h2\pi r_0 L}} = \frac{T_i - T_\infty}{R_{cond} + R_{conv}}$$

Le terme **ro** peut être exprimé en fonction de l'épaisseur de l'isolant, le terme **Rconv** est exprimé en fonction de la conductivité thermique par convection à l'air au repos à 15°C laquelle a l'expression :

$$h_{c+R} = h(T_0) = 6,88744 + 4,88 \times 10^{-2} (T_0 - 293) \quad \frac{W}{m^2 K}$$

Donc, il faut dériver l'expression précédente en fonction de l'épaisseur et égaler à zéro. D'abord il faut trouver **hconv** et pour l'avoir on a besoin de la température à la surface de l'isolant qui apparemment est plus grande de 15°C. Dans l'étude on n'a pas tenu compte la partie **Rconv** mais on va voir qu'on peut la négliger (et encore dans l'usage industriel).

Pour avoir **hconv** il faut trouver d'abord la température à la surface de l'isolant et faire un petit système d'équations et itérer (en donnant des valeurs initiales) jusqu'à arriver à la valeur, mais on peut sauter ce pas et aller directement mesurer sur place où on a mesuré une température de 30°C. De toute façon on a pris des températures depuis 16°C jusqu'à 100°C. En comparant les deux résultats et en prenant 8400 heures de fonctionnement (pas courant) les économies maximales sont de 270 €/mois, qui n'affectent pas trop les frais de l'entreprise et il faut compter sur le vieillissement du calorifuge. Finalement le rapport après le dérivé est le suivant :

$$R_{critique} = \lambda_{isol}/h_{conv}$$

Si $R_{critique}$ est plus petit que le DN du tuyau on n'aura aucun problème et on gagne avec n'importe quelle épaisseur. Sinon, on devra ajouter un minimum d'épaisseur $R_{critique}$.

Dans tous les résultats **Rcritique** est plus petit que le rayon du tuyau, donc on gagne toujours, ça est du au fait que la résistance thermique de l'isolant est beaucoup plus grande par rapport à la résistance thermique par convection de l'air.

Finalement pour de questions de sureté on a choisi un tuyau de DN150. On a cherché l'expression du coût annuel en fonction de l'épaisseur de l'isolant :

$$\text{Coût} = [(L * \pi * (T_2 - T_1)) / \ln(d + 2 * x / d)] * \text{temps} * \text{prix}$$

Dont x = épaisseur de l'isolant

Prix = prix du gaz

Temps = heures de fonctionnement

Ti = températures intérieur et extérieur

L = longueur du tuyau

Et le graphique est le suivant :

Temps =	8400	heures
2π =	6,283	
λ =	0,04	W/m°K
Text =	15	°C
Longueur =	180	m
Tint =	175	°C
Prix =	30	€/MWh
Epaisseur isol =	x	mm
DN =	150	mm

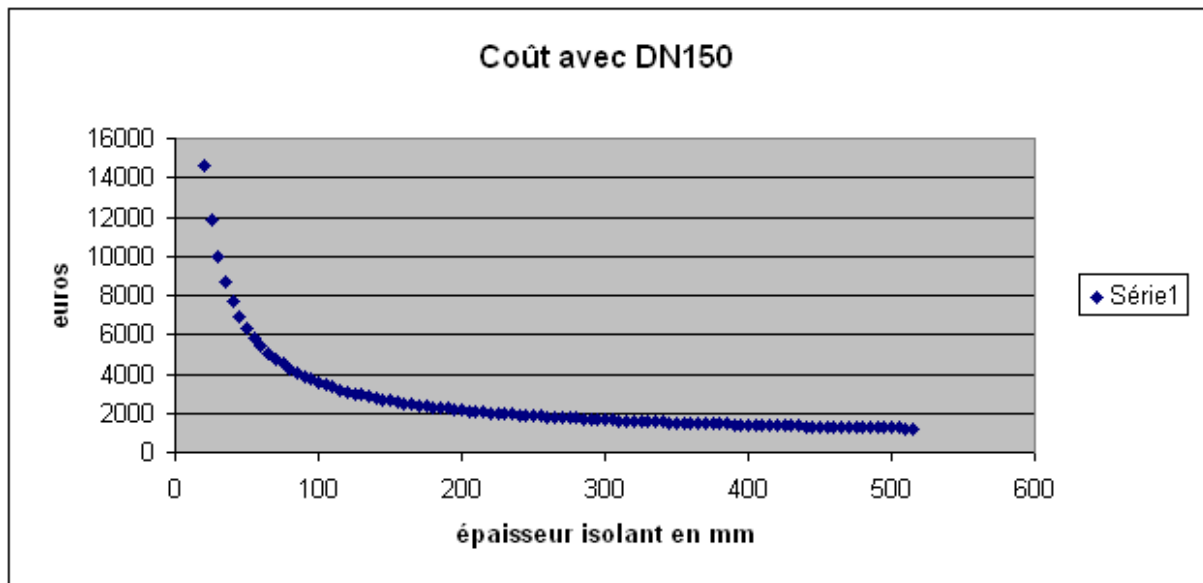


Schéma 14 : Evolution du coût annuel en fonction de l'épaisseur d'isolant.

Note : il faut diviser par 2 l'épaisseur de l'isolant

On doit choisir une épaisseur afin de trouver celle qui fait le prix annuel le plus petit. Pour arriver à ça il faut connaître les différents frais. Avec ça on devra trouver le point de croisement suivant :

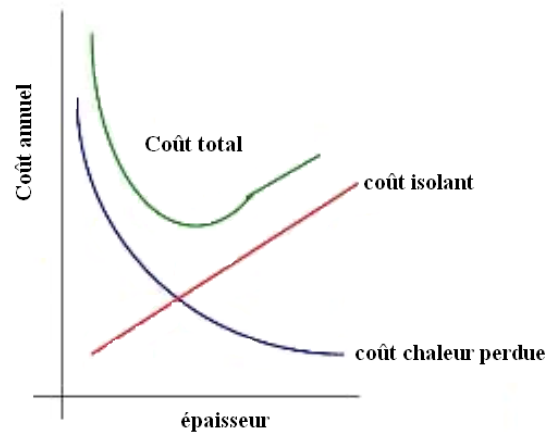


Schéma 15 : Evolution du coût total annuel en fonction de l'épaisseur d'isolant.

9.3.- Coût installation de la nouvelle ligne :

On est allé voir les techniciens du bureau d'étude pour avoir une idée du coût. Les prix sont standardisés pour chaque type de tuyau, isolant, etc.

Les frais sont les suivants (pour 180 m de tuyau et 150 de DN) :

Matière : 26 000 euros.

Calorifuge : 14 000 euros.

M-O : Le coût de la main d'œuvre dépend du nombre de poudes soudés. Dans les offres des différents commerciaux on peut trouver un prix moyen de 110 euros par pouce. En sachant qu'il faut une soudure sur 6 mètres de tuyau les résultats sont les suivants :

- $180 \text{ m} / 6 = 30$ tronçons
- Nb d'unions = 31 unions
- Nb de soudures par union = $150 \text{ mm} / 25,4 \text{ mm} \approx 6 \rightarrow 6$ soudures/ union
- Prix total main d'œuvre = $6 \times 31 \times 110 = 20.460 \text{ €}$

Après il faut de 0 à 25% sur le poste main d'œuvre de plus-value en fonction de la difficulté du chantier :

- accessibilité
- approche
- montage à la grue par grand tronçon ou montage au palan par petits tronçons
- .etc.

Dans notre cas, il faudra une structure pour monter le tuyau en haut et c'est pourquoi on ajoutera 20 %.

Somme total = $60460 + 20\%$ de la partie main d'œuvre = 65.575 €

Coût total = $65.575 \times 2 = \mathbf{131.150 \text{ €}}$ (aller-retour)

La somme total est de : **131.150 €**. En admettant que la durée de vie de l'isolant est à peu près de 20 ans (ça dépend beaucoup des conditions qu'il sera soumis), on a un prix annuel de 6557,5 € / année.

Avec ce prix on devrait ajouter un isolant d'environ 60mm (selon le graphique) de toute façon on a mis 50mm d'isolant car ça c'est l'épaisseur qu'on a vu sur place pour tous les tuyaux.

Les valeurs entre une situation et l'autre, c'est-à-dire, sans la nouvelle ligne et avec la nouvelle ligne est :

Ancien tuyau

Carlite 3	valeur	unités
Pn Carl3 =	1025	KW
témp entré =	175	°C
témp sortie =	147	°C
presion entré=	15	bar
presion sortie=	?	bar
DN105/125	105 et 125	mm
Qmin =	33,61047568	m3/h
vitesse =	1,078210802	m/s
Longueur A/R=	524	m
Pert chal A =	36,37667593	KW
Pert chal R =	36,37667593	KW
P à fournir =	1097,753352	KW
Pert charg A =	3,207737705	m
Pert charg R =	3,207737705	m

Nouveau tuyau

Carlite 3	valeur	unités
Pn Carl3 =	1025	KW
témp entré =	175	°C
témp sortie =	147	°C
presion entré=	15	bar
presion sortie=	?	bar
DN150	150	mm
Qmin =	33,61047568	m3/h
vitesse =	0,528323293	m/s
Longueur A/R=	180	m
Pert chal A =	14,16966796	KW
Pert chal R =	11,68997607	KW
P à fournir =	1050,859644	KW
Pert charg A =	0,230449629	m
Pert charg R =	0,230449629	m

Tableau 15 : Comparaison des différentes propriétés entre les deux tuyaux.
Et la comparaison des économies obtenues entre une situation et l'autre est :

Sans modifications	valeur	unités
Heures fonct/année =	8400	h
Pertes energie =	611,6170582	MWh
Prix gaz =	30	€/MWh
Coût total =	18348,51175	€/année

Avec la NL DN150	valeur	unités
Heures fonct/année =	8400	h
Pertes energie =	217,3947866	MWh
Prix gaz =	30	€/MWh
Coût total =	6521,843599	€/année

Economies max = 11826,66815 €/année

Avec la NL DN100	valeur	unités
Heures fonct/année =	8400	h
Pertes energie =	160,2124781	MWh
Prix gaz =	30	€/MWh
Coût total =	4806,374343	€/année

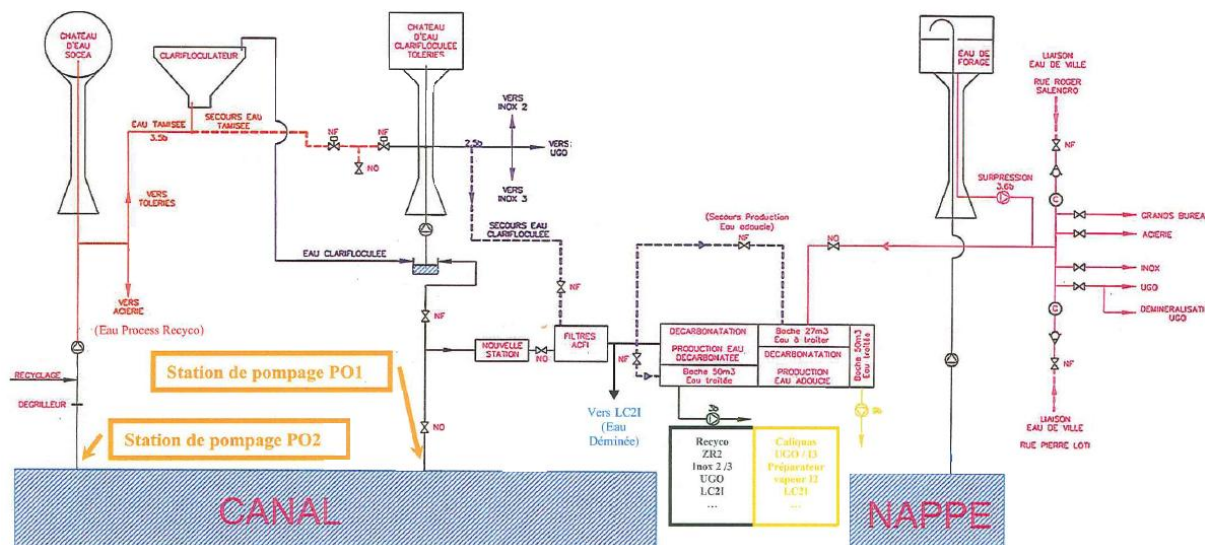
Economies max = 13542,1374 €/année

10.- Conclusions étude technique et économique

On n'a pas trop marge au moment de choisir le DN du tuyau. On est entre DN100 et DN 150. Si le DN est plus petit de 100 mm ça surpasse la vitesse de sûreté et si le DN est plus grand de 150 mm, les pertes de chaleur augmentent et les économies vont baisser. De même avec l'épaisseur du calorifuge car on a vu que les économies obtenues de 60 mm en amont varient très peu. De toute façon on obtient toujours des économies par rapport à la situation actuelle même si on néglige les possibles économies des pompes. Les économies ne sont pas trop élevées par rapport aux frais de l'entreprise mais il y a autre contrainte qui empêche de démarrer le projet : l'investissement. En suite il faudrait faire une étude exclusivement économique et savoir les différents entrées et sorties d'argent de chaque année (car il y a des frais d'entretien), savoir qui va déposer l'argent et les intérêts qui vont demander, etc. et finalement calculer la valeur actualisé. Mais, sans trop calcul, on voit que l'amortissement sera d'ici à 10 ans, c'est-à-dire, dans 10 ans on commencera à avoir des économies. A part ça, les économies obtenues seraient de 13500 €/ année, pas grande chose. Donc, sûrement, l'entreprise ne considérera pas la modification proposée.

11.- Annexe :

Annexe 1 :



Eau tamisée Eau clarifloculée Eau décarbonatée Eau potable Eau adoucie

Les différentes liaisons entre les circuits et ses secours. Toute l'eau du site est fournie par le fleuve, même l'eau potable vient de la nappe mais de toute façon il y a une vanne (normalement fermée) qui communique avec l'eau de la ville.

Annexe 2 :

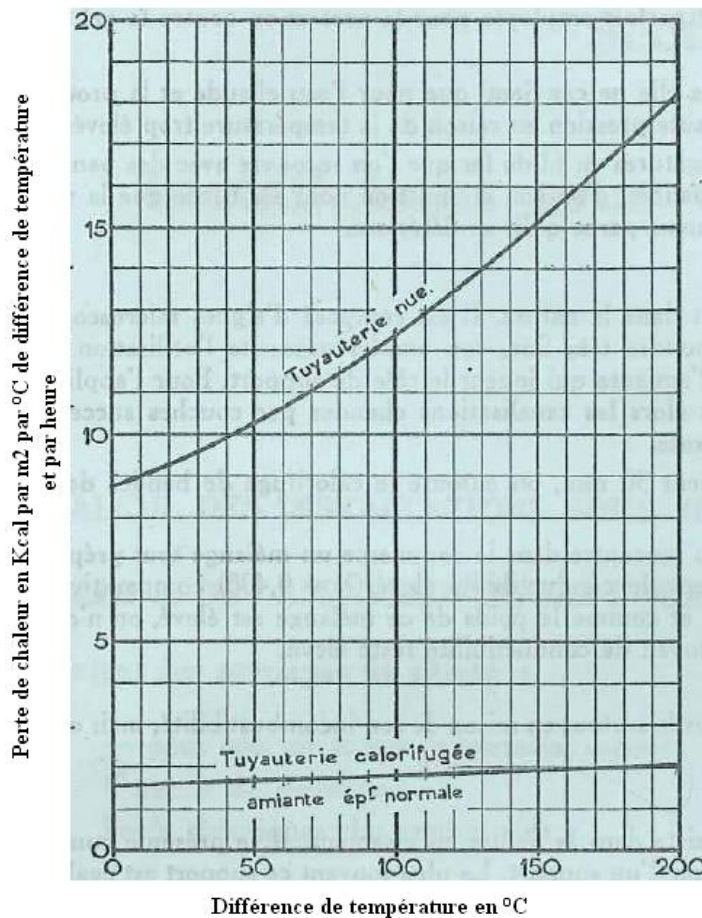
Pour calculer les propriétés de l'eau, on a fait des extrapolations linéaires avec le tableau suivant :

PROPIEDADES DEL AGUA

Temperatura (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Especifico c_p (J/kg°C)	Conductiv. térmica k (W/m°C)	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^6$ (N.seg/m ²)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m ² /seg)
0	999,9	4226	0,558	1794	1,789
20	998,2	4182	0,597	1004	1,006
40	992,3	4178	0,633	653,0	0,658
60	983,2	4181	0,658	470,0	0,478
80	971,8	4194	0,673	353,7	0,364
100	958,4	4211	0,682	281,0	0,294
140	926,1	4279	0,687	198,2	0,214
180	887,0	4413	0,678	153,5	0,173
220	840,5	4606	0,656	126,0	0,150
260	784,0	4944	0,614	107,5	0,137
300	712,5	6594	0,543	94,1	0,132

Annexe 3 :

Perte de chaleur dans les tuyauteries nues et dans les tuyauteries calorifugées



Dans l'abaque, on voit l'importance de la perte calorifique entre un tube nu et un tube calorifugé. Pour une différence de 200°C, la perte calorifique au mètre carré est de 2 Kcal/m²/°C/h pour un tube isolé, alors que cette perte passe à 18,2 Kcal/m²/°C/h pour une tube nu. L'épaisseur moyenne à donner aux calorifuges est variable suivant la température et la nature du produit. En général on peut admettre :

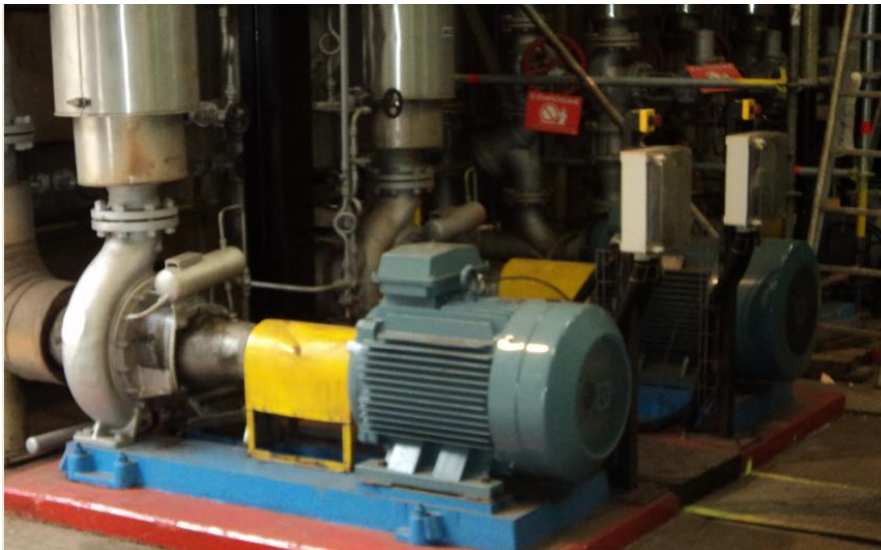
- de 50°C à 150°C, 30 mm
- de 150°C à 200°C, 35 mm
- de 200°C à 250°C, 40 mm
- de 250°C à 300°C, 45 mm

On peut largement négliger la vitesse de l'air extérieur du tuyau.

Annexe 4 :

Avec le deuxième graphique on a la puissance consommée, ensuite, il faut le diviser par le rendement qui est donné au premier graphique. Les graphiques sont valables pour fluides d'une masse volumique égale à 1kg/dm³, sinon il faudra multiplier par la nouvelle masse volumique pour avoir le bon résultat.

Annexe 5 :



2 pompes de circulation connectées en parallèle



Pompes de secours du circuit d'eau surchauffée.



Bâche alimentaire qui sert, entre d'autres, à compenser les fuites.



Automates : dans les armoires qui reçoivent les données de puissance consommée, pression, débit, température (pilotage automatique).



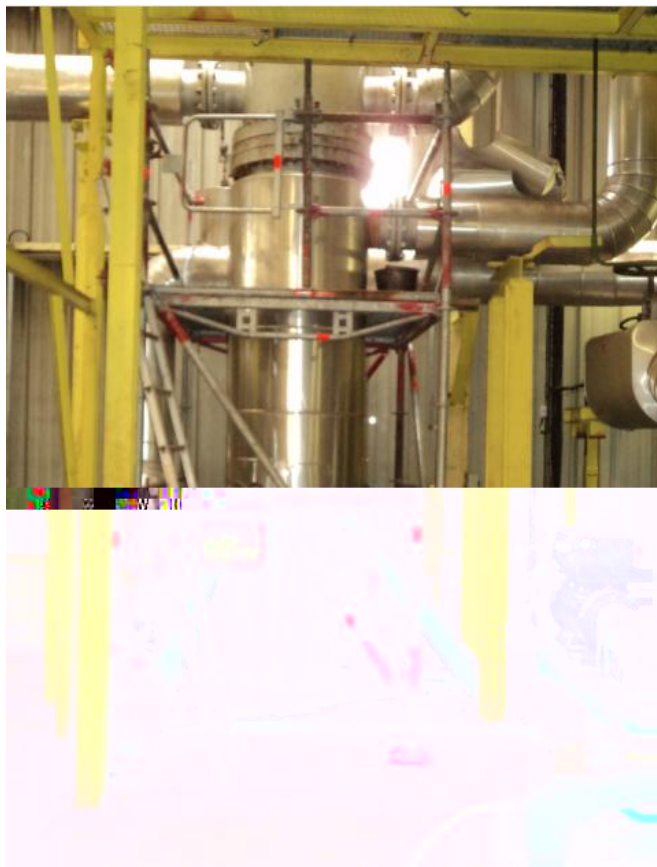
Ballon d'azote sous pression pour amortir les variations brusques de pression.



Chaudière Alstom technologie à tubes de fumées



Chaudière Carosso technologie à tubes d'eau.



Echangeur de chaleur vertical

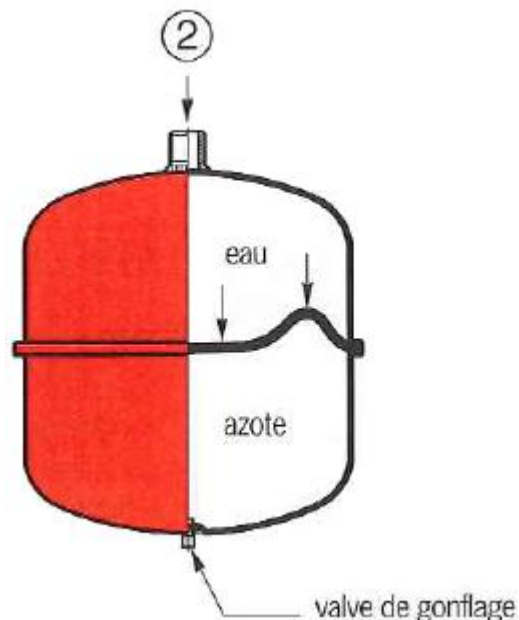
Vase d'expansion :

Principe de fonctionnement

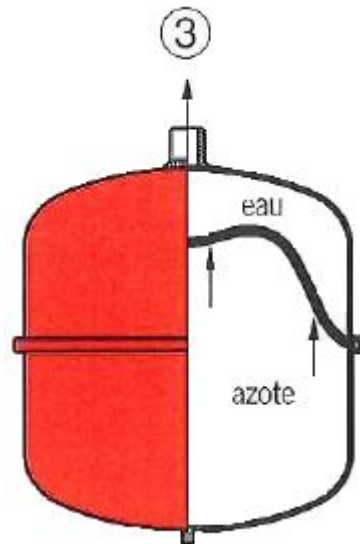
1).- Avant la mise en température, la pression à l'intérieur du vase équilibre la pression statique de l'installation. L'azote occupe entièrement le volume du vase. La membrane reste plaquée contre la paroi.



2).- Pendant la mise en température, le volume d'eau dans le circuit augmente sous l'effet de la dilatation et comprime la membrane. Le volume d'azote diminue et la pression dans l'installation augmente. Après la mise en température, la pression finale avoisine la pression de tarage de la soupape de sécurité.



3).- A l'arrêt de la chaudière, l'eau du circuit se refroidit et la pression dans l'installation diminue. L'eau contenue dans la vase retourne dans le réseau pour rétablir la pression, et le volume d'eau.



Annexe 6 :



Dans cette image on peut voir une partie du tuyau d'acier nu et l'isolant qui l'enrobe

12.- Bibliographie :

- [C.W.Somerton, M, cPotter] Termodinámica para Ingenieros, Ed McGrawHill
- [Lluís Albert Bonals] “Transferència de calor“, PUBLICACIONS D’ABAST S.L.L. De L’Escola Tècnica Superior d’Enginyeria Industrial de Barcelona
- [POMPES GUINARD] “KSB Catalogue de pompes 91/92“
- [SALSOM] Catalogue General 1998-1999 “Pompes et systèmes de pompage“
- [SERSEG] “Catalogue-Formulaire n° 75“ Robinetterie et Manométrie
- [UGINE ISBERGUES] “Catalogue Chaufferie Eau Surchauffée“

Sites internet:

- Catedra de ingenieria rural, Escuela Universitaria de Ingenieria Tecnica Agricola de Ciudad Real.
- www.tecnisuport.com
- www.termograf.unizar.es
- TRAVISOL, Société de Travaux d’Isolation.